



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»



МАТЕРИАЛЫ
Всероссийской научной конференции
с международным участием
«ВКЛАД АГРОФИЗИКИ В РЕШЕНИЕ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ»
Санкт-Петербург, 01–02 октября 2020 г.

Санкт-Петербург
2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»



МАТЕРИАЛЫ
Всероссийской научной конференции
с международным участием
«ВКЛАД АГРОФИЗИКИ В РЕШЕНИЕ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ»
Санкт-Петербург, 01–02 октября 2020 г.

Санкт-Петербург
2020

Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Вклад агрофизики в решение фундаментальных задач сельскохозяйственной науки». Санкт-Петербург, 01–02 октября 2020 г. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. – 780 с.

В сборнике представлены результаты научных исследований по широкому спектру проблем агрофизики, включающему комплексные исследования закономерностей взаимодействия растений со средой обитания и управление продукционным процессом сельскохозяйственных культур в естественных и регулируемых условиях; изучение механизмов устойчивости сельскохозяйственных растений к факторам биотического и абиотического стресса; формирование микробно-растительных систем; управление продуктивностью и качеством почв; фундаментальные основы селекции растений; применение информационных технологий и методов дистанционного зондирования в точном земледелии и мониторинге состояния агроэкосистем; математическое моделирование, интеллектуальные системы.

Ответственные за выпуск:

Блохина С. Ю.

Агеенкова О. А.

Цивилев А. Ю.

УДК 631.58:558:5

**НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
СИСТЕМ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

В. П. Якушев

*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
Гражданский пр. 14, г. Санкт-Петербург*

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-29-05184

Создание надежных и доступных методов обнаружения внутрислоевого неоднородности, степени интенсивности и выделения границ ее пространственного распределения на сельскохозяйственных полях является ключевой задачей в проблематике точного земледелия и по-прежнему весьма актуальной. Данные дистанционного зондирования Земли способны повысить качество и масштабы информационного обеспечения систем точного земледелия. Они позволяют осуществлять сплошную непрерывную оценку состояния посевов и среды их обитания с охватом одновременно значительных площадей, что невозможно при проведении наземных исследований. В силу огромных территорий нашей страны и возрастающей доступности аэрокосмических данных такому подходу в информационном обеспечении точного земледелия нет альтернативы. В докладе обосновывается перспективность обнаружения и выявления границ внутрислоевого неоднородности, базирующаяся на двух новых методах. Один из них предполагает применение вариограммного анализа аэрокосмических снимков, а другой основан на комплексной оценке динамики изменения оптических показателей различных индексов отражения, характеризующих физиологическое состояние посевов в оптимальных и стрессовых условиях. Расчеты осуществляются по материалам гиперспектрального дистанционного зондирования посевов, которое обеспечивает одновременное определение значений различных вегетационных индексов отражения, характеризующих один и тот же объект в тех или иных полосах спектрального диапазона в соответствии с заданными формулами.

Ключевые слова: точное земледелие, внутрислоевая неоднородность, вариограммный анализ, дистанционное зондирование, оптические характеристики растений, гиперспектральные снимки, методы выявления внутрислоевого неоднородности

Актуальность применения систем точного земледелия (ТЗ) в настоящее время существенно возрастает. Программа «Цифровая экономика РФ», утвержденная распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 г. № 1632-р и другие официальные документы, предписывающие необходимость инновационного развития страны, ставят перед сельскохозяйственной наукой задачу разработки и создания фундаментальных основ перехода к

высокопродуктивному агрохозяйству нового технологического уклада. Высококонкурентный, ресурсосберегающий и экологически сбалансированный процесс производства сельскохозяйственной продукции должен базироваться на использовании цифровых технологий и платформенных решений «умного сельского хозяйства». Наиболее соответствующей принципам «умного сельского хозяйства» является информационная технология ТЗ, в основе научной концепции которой лежит адаптация агроприемов к внутрислоевой изменчивости условий формирования урожаев. В ТЗ в непосредственной зависимости от степени интенсивности пространственно-временной изменчивости тех или иных факторов продуктивности на сельскохозяйственном поле и их пространственного распределения осуществляется планирование и последующая реализация прецизионных агроприемов производства растениеводческой продукции и сырья (Якушев, 2016; Якушев, Якушев, 2018). Создание надежных и доступных методов обнаружения внутрислоевой неоднородности, степени интенсивности и выделения границ её пространственного распределения на сельскохозяйственных полях является ключевой задачей в проблематике ТЗ и по-прежнему весьма актуальной. Из применяемых для этих целей подходов в настоящее время наиболее широкое практическое применение получил метод выделения внутрислоевой изменчивости, основанный на автоматизации способа отбора почвенных и/или растительных образцов с навигационным обеспечением и геоинформационной поддержкой процесса интерпретации получаемых данных в аналитических лабораториях. Основное преимущество данного метода заключается в точной привязке координат изучаемых полей и точек отбора почвенных проб на них, а также в удобном техническом информационном интерфейсе процесса почвенного обследования в целом. Соответствующая автоматизированная методика включает в себя следующие этапы (Сычев и др., 2007):

– создание электронных карт полей и контуров рабочих участков, на которых необходимо провести почвенное обследование, с координатной привязкой границ объектов;

– разбиение созданных контуров на элементарные участки - наложение сетки обследования, ячейкой которой является элементарный участок поля. Его размеры зависят от рельефа, типа почв и геоморфологии местности;

– определение сроков, периодичности и глубины отбора почвенных образцов на элементарных участках;

– отбор объединенных проб с элементарных участков при помощи автоматического пробоотборника;

– агрохимический анализ образцов в сертифицированной лаборатории;

– интерпретация полученных результатов с помощью геоинформационного модуля ГИС-АФИ (Часовских и др., 2013), (Якушев и др., 2018), включающая формирование электронных пространственно-ориентированных картограмм распределения агрофизических и агрохимических показателей почвенного плодородия, а также электронных карт-заданий для реализации агроприемов ТЗ в полевых условиях.

Вместе с тем рассмотренный метод наряду с большой затратностью имеет принципиальный недостаток, который заключается в том, что все выводы делаются на основе дискретных значений отобранных образцов и у производителей растениеводческой продукции возникает множество вопросов: сколько образцов следует отбирать, с какой площади, с каким шагом, в какой степени пространственное варьирование будет учтено при выбранной схеме отбора проб и определяемых в лаборатории показателях почвенного плодородия. В значительной степени лишены этого недостатка электронные карты урожайности, которые формируются автоматически с помощью уборочной техники, оборудованной мониторами, специальными датчиками и GPS приемниками, а также пространственно-атрибутивные характеристики

пахотного слоя почв, получаемые способом непрерывного измерения мобильными системами в режиме реального времени. Однако в России широкого применения в производстве эти подходы не нашли. Их преимущества используются нами в сборе опорной наземной информации для интерпретации материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). ДЗЗ – весьма перспективное направление для сплошной непрерывной оценки состояния посевов и среды их обитания с охватом одновременно значительных площадей, что практически невозможно осуществить при проведении наземных исследований. В силу огромных территорий нашей страны и возрастающей доступности аэрокосмических данных такому подходу в информационном обеспечении ТЗ нет альтернативы (Якушев и др., 2019). В этой связи нами обосновывается перспективность междисциплинарного подхода обнаружения и выявления границ внутрислоевой неоднородности, базирующегося на двух новых методах. Один из них предполагает использование главного геостатистического инструментария – вариограммного анализа аэрокосмических снимков, а другой основан на комплексной оценке динамики изменения оптических показателей различных индексов отражения, характеризующих физиологическое состояние посевов в оптимальных и стрессовых условиях (Якушев и др., 2020; Матвеев и др., 2020).

Вариограммный анализ аэрокосмической информации позволяет описать пространственную структуру управляемых показателей, влияющих на формирование урожая, выявить тренды их изменений, а также установить статистическую связность значений варьирующих характеристик, отражающих состояние агрономических объектов (Сидорова, Красильников, 2007; Якушев и др., 2009). Авторами разработан метод оценки вариативности посевов на заданном сельскохозяйственном поле с помощью вариограммного анализа спутниковых данных. В его основу положена геостатистическая модель неоднородности агроландшафтов, представляющая тот или иной показатель

внутриполевой изменчивости в виде суммы трех составляющих: макро-, мезо- и микрокомпонент. При этом теоретически показано, что при существенном вкладе мезокомпоненты в общую картину неоднородности ограниченной сельскохозяйственной территории, переход к технологиям точного земледелия целесообразно оценивать на основании наггет-дисперсии. С использованием спутниковых данных двух произвольно выбранных полей конкретного хозяйства был проведен вычислительный эксперимент по проверке перспективности применения на них прецизионных технологий внесения агрохимикатов. Оценка осуществлена на основе расчета вегетационного индекса NDVI и сравнительного анализа значений наггет-дисперсий их теоретических моделей, полученных путем аппроксимации соответствующих экспериментальных вариограмм (Якушев и др., 2020), (Якушев и др., 2020), (Якушев и др., 2020).

Особый интерес для решения задач точного земледелия представляют гиперспектральная съемочная аппаратура и методы анализа и интерпретации материалов гиперспектрального дистанционного зондирования поверхности Земли. Гиперспектральные данные являются данными широкого спектра электромагнитного излучения, включая видимый и инфракрасный диапазоны одновременно. Гиперспектральное изображение отличается от мультиспектрального непрерывностью, диапазоном и спектральным разрешением, что позволяет исследовать оптические характеристики почв и растительности в узких спектральных полосах (шириной 10 нм и менее), в то время как мультиспектральные изображения обычно содержат спектральную информацию в значительно более широких полосах (шириной более 40 нм). Теоретически гиперспектральное зондирование является более подходящим для определения с помощью различных индексов отражения характеристик посева и среды его обитания, включая состояние влаги, содержание органического вещества, питательных веществ, хлорофилла, каротиноидов, целлюлозы, биомассы и т. д. (Блохина, 2018). Гиперспектральные изображения

обеспечивают одновременное определение значений различных вегетационных индексов отражения, характеризующих один и тот же объект в разных спектральных диапазонах, вычисляемых по тем или иным формулам. Анализ спектральных характеристик отраженной от поверхности листьев радиации позволяет выявить признаки дефицита азота на самых ранних этапах, когда внешние симптомы азотного голодания еще отсутствуют. На ранних стадиях развития стресса, когда концентрация хлорофилла не меняется или меняется незначительно, угнетение растений можно, например, определить по увеличению индексов отражения (например, антоцианов, флавонов и/или каротиноидов), которое свидетельствует о снижении эффективности использования фотосинтетически активной радиации. При выраженном дефиците азота, сильно лимитирующем рост растений, ухудшение физиологического состояния растений может быть установлено по уменьшению величины индекса отражения хлорофилла (Kanash et al., 2009). В то же время дефицит воды и её неравномерное распределение по полю могут значительно исказить результаты дистанционной оценки потребности растений в азоте.

Поэтому для качественного анализа состояния посевов в ТЗ необходимо иметь набор оптических критериев, оценочную методологию и её программную реализацию, позволяющие определить неспецифические и специфические изменения оптических характеристик растений при воздействии различных неблагоприятных факторов, выявлять эти стрессоры с фиксацией границ их негативного влияния на заданном сельскохозяйственном поле. Реализуемость такого подхода основана на развитии ранее выполненных нами исследований по влиянию ряда конкретных индексов отражения на оценку физиологического состояния яровой пшеницы при оптимальных условиях и дефиците азота и воды. К ним, в частности, относятся следующие индексы отражения, позволяющие определить содержание пигментов и активность фотосинтетического аппарата: содержание хлорофилла (ChlRI); мера рассеивания света листьев (R800);

фотохимическую активность фотосинтетического аппарата (PRI); содержание антоцианов (ARI); содержание флавоноидов (FRI); содержание воды в листе (WRI). Работы выполнялись в контролируемых условиях с помощью миниатюрного оптоволоконного спектрометра HR 2000 (США), который обеспечивает оптическое разрешение 0,065 нм в диапазоне от 300 до 1000 нм с шагом 0,3 нм и автоматическую обработку измеряемой информации (Канаш и др., 2017), (Yakushev et al., 2017). Наличие подобных знаний и их накопление явилось основанием разработки базового алгоритма обнаружения и выделения границ внутрислоевого неоднородности по гиперспектральным снимкам и оптическим критериям. В основе алгоритма лежит процесс формирования проблемно-ориентированных базы знаний (БЗ) и базы данных (БД). В БЗ накапливаются формализованные сведения о формулах расчёта различных оптических критериев (индексов отражения) по тем или иным спектральным диапазонам, а также систематизируются и сохраняются значения соответствующих величин, характеризующих физиологическое состояние посевов сельскохозяйственных культур в оптимальных и стрессовых условиях. БД наполняется спутниковыми гиперспектральными снимками для расчёта оптических показателей посевов по критериям, содержащимся в БЗ. При решении данной задачи представляется эффективным использование разработок Института космических исследований (ИКИ РАН), его Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», предназначенного для работы с распределенными архивами данных и обеспечивающего доступ к постоянно пополняющимся спутниковым данным (Якушев и др., 2018; Лупян и др., 2018).

Центральным звеном базового алгоритма является блок расчёта оптических показателей по заданным критериям и их кластеризации на сельскохозяйственных полях по каждому критерию. Для решения данной задачи (выделение зон однородности) предлагается использовать подход, основанный на разделении смеси нормальных вероятностных распределений. При этом

математическое ожидание соответствует среднему значению оптического показателя внутри одной зоны, а дисперсия характеризует разброс внутри зоны однородности. Данный подход был реализован авторами, а соответствующее программное обеспечение апробировано при выделении зон однородностей по электронным картам урожайности (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008614663, 2008). Для определения границ внутриполевой неоднородности и степени негативного воздействия стресса на посев используются результаты кластеризации. Кластеризация позволяет получить значения математического ожидания и дисперсии оптического показателя для каждой выделенной зоны однородности (квазиоднородности) на конкретном поле. Решение задачи осуществляется путем сравнительного анализа данных величин с содержащимися в БЗ диапазонами значений оптимального и угнетенного состояния растений, вызванного конкретным стрессором (Матвеевко и др., 2020).

Список литературы

1. Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика. СПб.: АФИ, 2016. 364 с.
2. Якушев В. П., Якушев В. В. Перспективы «умного сельского хозяйства» в России // Вестник РАН. 2018, № 9. Т. 88. С. 773–784.
3. Сычев В. Г., Афанасьев Р. А., Личман Г. И., Марченко М. Н. Методика отбора почвенных проб по элементарным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. М.: ВНИИА, 2007. 36 с.
4. Часовских С. В., Телал Б. А., Якушев В. В. Специализированное программное обеспечение по реализации систем точного земледелия // Материалы научной сессии Агрофизического НИИ. 2013. С. 16–32.
5. Якушев В. П., Якушев В. В., Конев А. В., Матвеевко Д. А., Часовских С. В. О совершенствовании реализации агротехнологических решений в точном земледелии // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018, № 1. С. 13–17.
6. Якушев В. П., Дубенок Н. Н., Лупян Е. А. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования Земли для сельского хозяйства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 11–23. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-11-23.
7. Якушев В. П., Матвеевко Д. А., Петрушин А. Ф., Блохина С. Ю., Канаш Е. В., Якушев В. В. Новый метод количественной оценки внутриполевой изменчивости по оптическим характеристикам посевов для точного земледелия // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 2. С. 4–10. DOI: 10.30850/vrsn/2020/2/4-10.

8. Матвеевко Д. А., Воропаев В. В., Якушев В. В., Блохин Ю. И., Блохина С. Ю., Митрофанов Е. П., Петрушин А. Ф. Состояние и перспективы создания новых методов количественной оценки внутриполевой изменчивости в точном земледелии // *Агрофизика*. 2020. № 1. С. 59–70.
9. Сидорова В. А., Красильников П. В. Почвенно-географическая интерпретация пространственной вариабельности химических и физических свойств поверхностных горизонтов почв степной зоны // *Почвоведение*. 2007. № 4. С. 1–11.
10. Якушев В. П., Жуковский Е. Е., Якушев В. В. Вариограммный анализ для обоснования технологий точного земледелия // *Вестник РАСХН*. 2009. № 3. С. 16–20.
11. Якушев В. П., Буре В. М., Митрофанова О. А., Митрофанов Е. П. Оценка внутриполевой изменчивости для точного земледелия с помощью вариограммного анализа спутниковых данных // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 2. С. 261–269.
12. Якушев В. П., Буре В. М., Митрофанова О. А., Митрофанов Е. П. Применение методов геостатистики для анализа целесообразности перехода к технологиям дифференцированного внесения агрохимикатов // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления*. 2020. Т. 16. № 1. С. 31–40.
13. Якушев В. П., Буре В. М., Митрофанова О. А., Митрофанов Е. П. К вопросу автоматизации построения вариограмм в задачах точного земледелия // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления*. 2020. Т. 16, № 2.
14. Блохина С. Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2018. № 5. С. 10–16.
15. Kanash E. V., Osipov Y. A. Optical signals of oxidative stress in crops physiological state diagnostics // *Precision agriculture*. Wageningen, Netherlands. 2009. P. 81–89.
16. Канаш Е. В., Якушев В. П., Русаков Д. В., Блохина С. Ю., Кравцова А. В. Оптические характеристики листьев яровой пшеницы при дефиците азота и воды // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2017. №4. С. 9–12.
17. Yakushev V., Kanash E., Rusakov D., Blokhina S. Specific and non-specific changes in optical characteristics of spring wheat leaves under nitrogen and water deficiency // *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ЕСРА 2017)*. 2017. V. 8. N. 2. P. 229–232
18. Лупян Е. А., Бурцев М. А., Прошин А. А., Кобец Д. А. Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 3. С. 53–66. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-53-66.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ ПОЧВ В СОВРЕМЕННОЙ АГРОФИЗИКЕ

Е. В. Шеин^{1,2}, А. В. Дембовецкий¹, А. В. Суздалева¹, Н. В. Сорокина¹,
Т. Г. Калнин¹

¹*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
факультет почвоведения, г. Москва, Россия;*

²*Почвенный институт имени В. В. Докучаева, г. Москва, Россия*

Рассмотрены основные направления агрофизики, в которых цифровые технологии и приборная база позволяют проводить исследования в реальном времени, а также моделировать и прогнозировать почвенные процессы с более высокой точностью. Проанализирован ряд приборных средств, применяемых в почвенной гидрологии, теплофизике и физике почв.

TOPICAL ISSUES OF SOIL PHYSICS IN MODERN AGROPHYSICS

E. V. Shein^{1,2}, A. V. Dembovetskiy¹, A. V. Suzdaleva¹, N. V. Sorokina¹,
T. G. Kalnin¹

¹*Lomonosov Moscow State University,*

GSP 1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russian Federation;

²*Dokuchaev Soil Science Institute, Pyzhevskii per.7, Moscow, 119017 Russia*

The main directions of agrophysics are considered, in which digital technologies and instrumental base allow conducting researches in real time, as well as modeling and forecasting soil processes with higher accuracy. A number of instruments used in soil hydrology, thermal physics and soil physics are analyzed.

The article considers the main directions of agrophysics, in which digital technologies and instrumentation allow conducting research in real time, as well as modeling and predicting soil processes with higher accuracy. The authors analyzed a number of instruments used in soil hydrology, Thermophysics and soil physics. Agrophysics consists of 3 large sections: soil physics, microclimatology and productivity of agricultural plants under the influence of physical factors. Modern soil physics uses modern digital technologies while preserving traditional classical methods. Quantitative methods remain in demand and at the same time serve as indicators of the state of physical properties of the soil. These methods are especially important in the study of the «soil – plant» system, when it becomes possible to trace the dynamics of the growth and development of the root system depending on the properties, and accompanying these experiments on seed germination with observations of the composition of soil biota allows you to fully use the classical principles of agrophysics to study the physical properties of soils and the state of soil biota. Quantitative data is used in modeling and forecasting in physically based models. Digital devices in soil hydrology allow you to determine the volume humidity, temperature, soil moisture pressure, and ground water level in real time. Together with the data of meteorological changes, this makes it possible to create a predictive soil-hydrological picture in areas with different moisture availability. Data on dynamic changing systems, such as soil structure, soil hydrology, and climate adaptation obtained in real time allow you to quickly manage these systems and predict their behavior. It also increases the accuracy of forecasting.

Известно, что агрофизическая наука включает три больших раздела. Это (1) микроклиматология, т. е. метеорология приземного слоя атмосферы, это (2) физические основы продуктивности сельскохозяйственных растений, к которым относятся прежде всего изучение действия таких физических факторов, как свет, температура, электрические и другие взаимодействия. И 3-й раздел, – это физика почв, изучающая физические свойства и процессы, определяющие рост, развитие растений и почвенной биоты.

Современный этап развития физики почв характеризуется быстрым внедрением цифровых технологий при сохранении классических базовых методов с интенсивным внедрением новой приборной техники. Эта техника позволяет количественно оценивать некоторые свойства почв, количественное описание которых ранее было либо невозможно, либо ограничено временными и пространственными рамками. Для удобства рассмотрения этих актуальных для современной физики почв и агрофизики вопросов, последовательно проанализируем современные приборные средства, активно используемые при оценке свойств почв и почвенных процессов.

Почвенно-физические свойства. В современных исследовательских и практических целях в наибольшей степени (в 53 случаях из 100) среди физических свойства исследуют плотность почв (Bünemann и др., 2018), значительно реже – гранулометрический состав, водоустойчивость структуры и коэффициент фильтрации (в 43, 28 и 20% почвенных исследований, соответственно). Сравним, – при исследовании химического состояния устойчиво в 92% определяют содержание органического вещества, в 82% – рН и в среднем 55% – N, P, K. Эти данные указывают на востребованность прежде всего количественных физических свойств почвы, участвующих в различных расчетах (запасов влаги, питательных веществ и пр.) и одновременно служащих индикаторами физического состояния. Следовательно, современная физика почв избирает направление своего развития в виде исследования таких свойств и

параметров, с помощью которых возможно производить расчётные процедуры, использовать в физически обоснованных моделях и одновременно применять их как индикаторы физического состояния. В этом направлении складываются и умножаются усилия агрофизиков и физиков почв. В области исследования физических свойств в последнее время активно развиваются концепции и применение томографических методов исследования. Эти приборы позволяют не только охарактеризовать структуру порового пространства, т. е. не только распределения объемов пор по их размерам, но и оценить связность пор, их форму и другие свойства порового пространства, входящие в современное понятие структуры порового пространства. Особенно эти методы важны при исследовании системы «почва – растение», когда появляется возможность проследить в динамике рост и развитие корневой системы в зависимости от свойств, а сопровождение этих экспериментов по прорастанию семян наблюдениями за составом почвенной биоты позволяет в полной мере использовать классические принципы агрофизики по изучению физических свойств почв и состояния почвенной биоты (Вершинин и др., 1959).

Почвенно-физические процессы (режимы). Рекордное наводнение на Среднем Западе в 2019 году, сильные ураганы, обрушивающиеся на сушу в 2017 и 2018 годах, и исторические засухи в Калифорнии в 2014–2017 годах подчеркивают неотложную необходимость помочь производителям повысить устойчивость своей деятельности к текущим и будущим последствиям изменения климата. Термин «устойчивость» сейчас обычно сочетается со словосочетанием «climate adaptation» и становится главенствующим в почвенно-агрофизической терминологии. И если большинство международных и отечественных исследований сосредоточены на проблеме «изменение климата - продуктивность почв» в аспекте выбросов CO₂ и совершенствования систем агроэкологического земледелия и скотоводства, включая органическое, устойчивое, природоохранное сельское хозяйство и пермакультуру, которые

могут изолировать C и сократить прямые выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве (Yohannes, 2016), то в данном случае мы сосредоточимся на гидрологических почвенных проблемах.

Мы коснемся только проблем изучения водного (гидрологического) режима почв в аспекте реального (текущего) времени, что важно не только для оперативного управления, но и оценки изменений водного режима в ближайшей перспективе. До сих пор неясно, в каком направлении ориентироваться гидрологам, - на превентивные меры по борьбе с засухой, либо по борьбе с переувлажнением. Действительно, с 2005 года по настоящее время практически не было изменений общей площади как орошаемых, так и осушенных земель; для мелиорированных осушаемых земель лучше проявлялась тенденция повышения площади осушаемых земель в неудовлетворительном состоянии (от 2300 тыс. в 2005–06 гг. до 2600 тыс. га в 2017–19 гг.) («Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России». ТОМ II, 2019). Это означает, что до настоящего времени не выбрана парадигма изменения гидрологии почв в ближайшее время и, соответственно, меры по повышению устойчивости водных режимов почв в различных почвенно-климатических зонах. Основной выход и переориентация научных и прогностических исследований в области физики почв состоят в использовании цифровых технологий наблюдений за водным, воздушным и тепловым режимами почв. Современное состояние приборостроения в области почвенной гидрологии позволяет проводить наблюдения в режиме реального времени и проводить аналитический мониторинг гидрологии и теплофизики почв: имеются цифровые тензиометры, влагомеры на TDR-принципах, программируемые температурные датчики. Эти приборы позволяют в динамическом режиме оценивать такие гидрологические параметры, как объемная влажность, температура, давление почвенной влаги, уровень грунтовых вод, что при сопряженных метеорологических измерениях

позволит создать прогностическую почвенно-гидрологическую картину в различных по тепло-влажностности районах.

Обладая такой динамической цифровой информацией прогностические физически обоснованные модели при адаптации будут иметь более точный и надежный прогноз, который можно будет считать основой для обоснования парадигмы изменения гидрологии почв в ближайшее время и, соответственно, мер по повышению устойчивости водных режимов почв в различных почвенно-климатических зонах.

Благодарности

Работа частично финансово поддержана РФФИ, проект 19-29-05112_мк, «Цифровая физика и гидрология почвы: основы пространственно-динамического анализа, прогнозирование рисков критических ситуаций и оптимальное управление», и проект 19-04-01056_а «Трансформация свойств и строения внутриагрегатных пор суглинистых почв при переменной влажности и внешней нагрузке», проекты фундаментальных научных исследований, 04 БИОЛОГИЯ, 04-180 почвоведение, руководитель проектов проф. Шеин Е. В.

Список литературы

1. Вершинин П. В., Мельникова М. К., Мичурин Б. Н., Мошков Б. С. и др. Основы агрофизики. (ред. Иоффе А. Ф., Ревут И. Б.) Физматгиз, 1959. 910 с.
2. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» (под редакцией Р. С.-Х. Эдельгериева). Т. 2. М.: ООО «Издательство МБА», 2019. 476 с. ISBN 978-5-6043225-6-7.
3. H. Yohannes. A Review on Relationship between Climate Change and Agriculture. J Earth Sci Clim Change, 7:335. (2016) DOI: 10.4172/2157-7617.1000335
4. E. K. Bünemann, G. Bongiorno, B. Zhanguo, R. Creamer. Soil quality - A critical review. Soil Biology and Biochemistry, 120, (2018), p. 105–125. 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.

НА ПУТИ К СОЗДАНИЮ «ИДЕАЛЬНЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ»

Г. Г. Панова¹, Е. В. Канаш¹, О. Р. Удалова¹, А. А. Кочетов¹, А. С. Галушко¹,
Н. С. Прияткин¹, К. Н. Семенов², О. А. Шилова³, А. М. Артемьева⁴

¹ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);

²ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет»
(СПбГУ);

³ФГБУН «Институт химии силикатов им. И.В. Гребенищикова Российской
академии наук» (ИХС);

⁴ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт
генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ФИЦ ВИР)

ON THE WAY TO THE CREATION OF «IDEAL» AGROECOSYSTEMS

G. G. Panova¹, E. V. Kanash¹, O. R. Udalova¹, A. A. Kochetov¹, A. S. Galushko¹,
N. S. Priyatkin¹, K. N. Semenov², O. A. Shilova³, A. M. Artemyeva⁴

¹*Agrophysical Research Institute (API);*

²*Saint Petersburg State University» (SPbSU);*

³*Institute of Silicate Chemistry of RAS (ICHS);*

⁴*Federal Research Center the Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic
Resources (VIR)*

The scientific and technical fundamentals of «ideal agroecosystems» physical modeling are presented, which are characterized by a high degree of controllability of matter and energy flows between the environment and plants with concomitant biota, and where it becomes possible to realize the fullest extent the genetically determined potential of a particular crop and create ecologically harmonious optimized highly efficient complexes: microclimate - variety (hybrid) - technology to stable receive the high quality yields plant production. It is shown that the creation of such agroecosystems is possible with the integrated solution of the following problems: 1) optimization of the conditions of light, air and root habitat in accordance with the needs of a particular culture; 2) the creation or selection of hybrids and varieties that give high yields of quality plant products in a controlled agroecosystem; 3) monitoring the plants physiological state and detecting stress in the early stages of its occurrence using non-invasive physical methods; 4) the use of high-quality seed according to the results of a non-destructive rapid assessment of internal defects by x-ray in combination with morphometric analysis; 5) development and application of highly effective environmentally friendly plant growth and metabolism regulators.

Keywords: physical modeling, «ideal» agroecosystem, plant growing light equipment, agrobiotechnology, physical control methods, genetic-breeding technologies, highly productive plants

Конструирование «идеальной» агроэкоecosистемы», характеризующейся высокой степенью управляемости потоками вещества и энергии между окружающей средой и растениями с сопутствующей биотой, максимально

возможной реализуемостью генетически обусловленного потенциала той или иной сельскохозяйственной культуры и, где формируемые экологически гармоничные оптимизированные высокоэффективные комплексы микроклимат – сорт (гибрид) – технология обеспечивают получение стабильно высоких урожаев качественной растительной продукции, является приоритетной фундаментальной научно-исследовательской задачей, выполнение которой становится возможным на основе получения системных знаний о закономерностях и механизмах функционирования указанных комплексов и взаимодействия растений и сопутствующей биоты с физически моделируемой средой обитания.

Прообразами таких систем можно считать современные растительные фабрики или индустриальные фермы, разработка и внедрение которых довольно широко развиты за рубежом (Kozai et al., 2019 и др.). По оценкам экспертов, эффективность таких фабрик и ферм с регулируемыми условиями микроклимата, искусственным освещением и многоярусным вегетационно-облучательным оборудованием (по использованию ресурсов – пространства, почвы, воды; по числу урожаев, объему удобрений и т. д.) в 15–90 раз выше по сравнению с сельскохозяйственным производством в открытом грунте и в 1,5–10 раз – по сравнению с современными тепличными комплексами закрытого грунта (Hughes, 2018; Al-Kodmany, 2018; Kozai et al., 2019). По мнению ряда экспертов, вертикальные фермы могут способствовать решению проблемы нехватки сельхозугодий (Corvalan et al., 2005; Healy et al, 2013; Despommier, 2010).

Однако в литературе также отмечается, что такие сложные, многокомпонентные антропобиосистемы, как растительные фабрики, еще недостаточно изучены, вследствие чего не обоснованы оптимальные технологии производства (Schueller, 2014) и имеется много возможностей для улучшения и совершенствования производственного процесса в них. Так, на сегодняшний

день вопросы оптимизации состава и свойств корнеобитаемой среды растений, так же, как и световой среды остаются нерешенными, так как это многокомпонентная задача с несколькими переменными, зависящими от задаваемых условий и продукционного, адаптационного потенциала выращиваемого сорта или гибрида овощной культуры.

Существующие тренды технического и технологического развития в области светотехники, генетики и селекции, биотехнологии, nanoиндустрии позволяют прогнозировать в будущем (5–10 лет) появление реальных возможностей повышения эффективности световой, корнеобитаемой среды, системы питания растений, обеспечивающих увеличение выхода урожая, улучшение качества растительной продукции при снижении затрат на ее производство и, в целом, существенное повышение рентабельности биофабрик. В научно-технической сфере и среди экспертов-аналитиков отмечается, что на сегодняшний день пока нет оптимальных решений, которые можно повсеместно тиражировать. У каждого предприятия свои особенности успеха или банкротства. Общими причинами низкой рентабельности или краха являются высокие капиталовложения и операционные расходы из-за затрат электроэнергии, труда, оплаты аренды земли в городской черте и др. (Kozai et al., 2019). Еще одна существенная причина – отсутствие достоверных знаний у менеджеров компаний об особенностях устройства и затратах от эксплуатации различных систем выращивания растений, питания и освещения, информации о том, какие сорта и гибриды планируемой для получения растительной продукции будут наиболее выгодными в создаваемых условиях выращивания. Руководствуясь рекламой успешного применения тех или иных технологий выращивания растений при внедрении на собственном производстве, предприятия часто не получают ожидаемого эффекта и тем более прибыли. По данным F. B. Oliveira и S. Ferson (2019), приблизительно 85% вертикальных ярусных растительных фабрик с искусственным светом обанкротятся, если им

не будут в течение нескольких лет выделены дополнительные капитальные вложения. Отмеченные риски использования невыгодной для условий производства технологии могут быть снижены при взаимодействии с научно-исследовательскими центрами и институтами, обладающими знаниями, опытом и имеющими в своем составе специалистов в области светофизиологии, растениеводства в интенсивной светокультуре, селекции и биотехнологии, инженерии, агрономии. По сути формируется в мировом масштабе новая подотрасль интеллектуального растениеводства, в связи с этим для ее устойчивого развития необходимо время, накопление опыта и знаний об особенностях функционирования растительных производств различного типа, реализуемых бизнес-технологиях и моделях.

В нашей стране вертикальное растениеводство только начинает развиваться, но в отличие от зарубежных стран, где в создании и отладке фабрик участвуют научные центры и специалисты в области светофизиологии растений, растениеводства, агрохимии, инженерии и др., среди российских предпринимателей доминирует мнение о простоте систем выращивания растений и используется чисто технический подход к их созданию без учета потребностей растений.

Следствием некомпетентности в знаниях о функционирования системы «растение – среда обитания»; переноса технологий тепличных комплексов в сити-фермерство без учета особенностей и потребностей выращиваемых растений в условиях полной интенсивной светокультуры; без осуществления грамотного контроля за процессами потребления элементов питания и регуляции качества растительной продукции; отсутствия знаний генетического материала, – являются: не соответствующая потенциальным возможностям производительность; невысокое качество получаемой продукции; отсутствие или низкая рентабельность и более длительный срок окупаемости производства.

В ФГБНУ АФИ со дня его создания используется системный подход к решению задачи обеспечения стабильного получения высоких урожаев качественной растительной продукции, включая разработку методов, приемов и технических устройств контроля и оптимизации световой, корнеобитаемой и воздушной среды и изучение влияния их параметров на физиологическое состояние растений, механизмы и закономерности их взаимодействия с сопутствующей биотой и средой обитания, а также агро-, био- и генетико-селекционные технологии повышения эффективности продукционного процесса растений в регулируемых условиях интенсивной светокультуры.

Цель данной работы – охарактеризовать научно-технические основы создания «идеальных» агроэкосистем с высокой степенью управляемости потоками вещества и энергии между окружающей средой и растениями с сопутствующей биотой, обеспечивающих максимально возможную реализацию генетически обусловленного потенциала сельскохозяйственной культуры.

Материалы и методы

Исследования проводили на биополигоне ФГБНУ АФИ с регулируемыми условиями микроклимата. Для выращивания растений использовали оригинальные опытные образцы вегетационных светоустановок (ВСУ), включая ризотронную технику (Панова и др., 2015). Объектами исследований являлись широкий спектр сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. Растения выращивали в серии вегетационных экспериментов при варьировании условий световой, корнеобитаемой и воздушной среды. Для оценки качественных характеристик семенного материала и физиологического состояния вегетирующих растений, изменений биологических и химических свойств почв, почвозаменителей, особенностей поведения сопутствующих растениям микроорганизмов использовали физические методы экспресс-диагностики (рентгенографические, спектрофотометрические), а также стандартные, общепринятые химические и микробиологические методы.

Результаты исследований

Пути к конструированию «идеальной» агроэкосистемы с оптимизируемой средой обитания и адаптированными к условиям выращивания, высокопродуктивными сельскохозяйственными культурами в ФГБНУ АФИ прокладываются посредством научно-обоснованных: 1) оптимизации условий световой, воздушной и корнеобитаемой среды обитания в соответствии с потребностями той или иной культуры; 2) создания или подбора гибридов и сортов, дающих высокие урожаи качественной растительной продукции в условиях РАЭС; 3) контроля физиологического состояния растений и обнаружения стресса на ранних этапах его возникновения с помощью метода спектроскопии отраженной от поверхности листьев радиации; 4) использования качественного посевного материала по результатам неинвазивной и неповреждающей экспресс-оценки с применением метода рентгенографии; 5) разработки и применения высокоэффективных экологически безопасных регуляторов роста и метаболизма растений.

Так, в ходе многочисленных исследований нами установлено преимущество для растений спектра излучения, приближенного к солнечному свету, что свидетельствует о решающей роли всего диапазона длин волн в видимой области спектра – это осуществление фотосинтетических реакций: аккумуляция и преобразование энергии света; регуляция вторичных процессов: синтез метаболитов, защитных соединений и др.; процессы в живом листе – рассеяние на органеллах и т. д.; а также о значительной роли ИК-составляющей – соотношение красный/дальний красный, как известно, является пусковым сигналом, воспринимаемым фитохромами (Кулешова и др. 2020). При создании источников света, излучающих во всем диапазоне длин волн в области фотосинтетически активной радиации, реализация энергосберегающего и экономически выгодного режима может быть достигнута с помощью светодиодных технологий. Применение полноспектрального светодиодного

светильника с возможностью управления интенсивностями основных физиологически значимых длин волн в качестве искусственного источника света для растений имеет наибольшие перспективы. Во-первых, это определяется развитием светодиодных технологий и динамичным ростом их технических параметров. Во-вторых, одно из наиболее значимых свойств, это управление спектральными характеристиками, что позволяет учитывать потребности растений в зависимости от их вида, периода развития, климатических условий и т. д.

Разработка ФГБНУ АФИ нового метода формирования корнеобитаемой среды с использованием малообъемной и тонкослойной панопоники позволяет в определенной степени закрыть слабые места других распространенных методов выращивания растений (гидропонные, аэрогидропонные, аэропонные и др.). Низкая себестоимость, высокая производительность, безвредный для природы состав растворов, оптимизированное соотношение твердой, жидкой и газообразной составляющих среды для корневых систем растений, высокое качество получаемой растительной продукции, включая органолептические характеристики, технологическая простота эксплуатации при равной эффективности использования воды, удобрений по сравнению с закрытыми гидропонными системами все вместе являются основанием и подчеркивает перспективность для широкого внедрения данной технологии в производство. В таблице на примере листового салата показано важное влияние на урожайность овощных культур типа субстрата и способа подачи питательного раствора к корневым системам растений при оптимизированных свето-температурных условиях. При сравнении с урожайностью культур, производимых в ведущих мировых компаниях по гидропонным и аэропонным технологиям видно, что она не ниже мировых значений, а преимущественно существенно выше при схожих затратах на воду и удобрения. Так, анализ литературных данных свидетельствует о том, что урожайность, в частности, салатных культур в зарубежных компаниях

колеблется от 26 до 66 кг на 1 м² в год с преимущественными значениями около 30–45 кг на 1 м², что почти в два раза ниже таковой, получаемой по технологии тонкослойной панопоники в ФГБНУ АФИ (Kozai et al., 2016; Armanda et al., 2019 и др.).

Таблица. Продуктивность салатных культур при выращивании методом панопоники под различными источниками света в помещении с полезной высотой 4 м (данные испытаний панопоники на биополигоне ФГБНУ АФИ)

Тип сооружений	Источник искусственного освещения	Субстрат	Способ поступления раствора к корневым	Сортогип	Вегетационный период сутки	Урожай кг м ⁻² помещения в год	Вид панопоники
Закрытые от дневного света помещения	натриевые лампы	агрофит	щелевой капилляр	салат листовой	28–30	245–315	малообъемная
				салат дуболистный	28–30	155–260	малообъемная
	салат листовой			28–30	470–625	малообъемная	
	натриевые лампы	тонкослойный аналог почвы	щелевой капилляр	салат листовой	28–30	265–335	тонкослойная
	светодиоды				28–30	470–635	тонкослойная

Аналогичное формирование существенно более продуктивных растений при их выращивании по технологиям АФИ наблюдается и у плодовых, корнеплодных и других овощных культур. Так, в передовых современных российских тепличных хозяйствах, формирующих облученность растений от искусственных источников (ДНаЗ-600 и ДНаЗ-1000) на уровне 0,25 кВт м⁻², урожайность растений с высотой стебля, равной 4 м, составляет у огурца 203 кг м⁻², у среднеплодного томата – 114 кг м⁻² (по данным сайта тепличного комбината Майский (Казань) www.maiski.ru). Однако сходные значения по урожайности получены в ФГБНУ АФИ с растений высотой 0,5 м у

среднеплодного томата и 2 м у огурца при облученности 0,40 кВт м⁻². Использование полезного объема помещения высотой 4 м при реализации технологий ФГБНУ АФИ потенциально позволит сформировать урожаи у огурца в 1,5–2 раза выше, томата – в 3,5–4,0 раз выше, чем в передовых тепличных комплексах. Предложенная ФГБНУ АФИ система выращивания растений вследствие высокой урожайности имеет равные или более низкие значения себестоимости по сравнению с таковыми у зарубежных компаний, несмотря на несколько более высокие операционные затраты на световую электроэнергию. А высокая производительность и качество растительной продукции обеспечат более короткие сроки окупаемости организации производства в растительных фабриках по технологии ФГБНУ АФИ по сравнению с зарубежными или отечественными условными функциональными аналогами.

Важным аспектом получения планируемых урожаев качественной растительной продукции является состояние ее исходного семенного материала. Разработка принципов отбора биологически полноценных семян, особенно для выращивания хозяйственно ценной овощной продукции требует учета не только внешних, но и скрытых дефектов и аномалий семян, что становится возможным при применении неинвазивных технологий экспресс-оценки семян. Наличие таких скрытых дефектов, как: внутреннее прорастание, травмы зародыша, энзимо-микозное истощение, зараженность насекомыми-вредителями, развитие мицелия фитопатогенных грибов, пустозернистость (невыполненность) семени, - существенным негативным образом отражается на всхожести семян и реализации продукционного потенциала растений (Martinez et al., 2018; Мусаев с соавт., 2018; Архипов с соавт., 2019 и др.). В ФГБНУ АФИ, начиная с 80-х годов прошлого столетия проводится работа по разработке специализированной аппаратуры и методов для рентгенъемки с прямым рентгеновским увеличением семян, создана соответствующая технология контроля качества семян.

Разработанный в последние годы неразрушающий метод экспресс-контроля (мягколучевая микрофокусная рентгенография с автоматизированным анализом рентгенограмм) семян различных сельскохозяйственных культур позволяет в считанные минуты оценивать в количественном выражении все скрытые в семенах дефекты, а выявленные взаимосвязи и зависимости степени развития скрытого дефекта с показателями всхожести семян, силы роста проростков на ранних этапах развития растений (Прияткин с соавт., 2018; Архипов с соавт., 2019 и др.) дали возможность объективно делать рекомендации по целесообразности их дальнейшего использования и осуществлять отбор качественных партий семян, что особенно важно для условий закрытых систем культивирования растений.

Разработанные усовершенствованные неинвазивные физические методы экспресс-оценки качественных характеристик семенного материала и диагностики физиологического состояния растений по спектральным характеристикам их листьев (Kanash et al., 2013; Yakushev et al, 2017) наряду с контролем оптимальных режимов выращивания растений в регулируемых условиях позволит обеспечить производство высококачественной растительной продукции и воспроизводимость результатов.

Разработка и внедрение новых ресурсосберегающих технологий производства растительной продукции в условиях интенсивной светокультуры требует поиска и подбора наиболее адаптированных сортов и гибридов растений, а также создания новых скороспелых высокопродуктивных форм с улучшенными хозяйственно ценными свойствами для условий выращивания. Создан постоянно пополняемый банк данных по наиболее адаптированным к условиям интенсивной светокультуры сортам и гибридам овощных культур. Разработана оригинальная селекционная методология получения новых форм с.-х. культур с прогнозируемым комплексом хозяйственно-ценных признаков, базирующаяся на теории эколого-генетической организации количественных

признаков (ТЭГОКП) и методах изучения взаимодействия генотип-среда в регулируемой агроэкосистеме (Кочетов и др., 2012). На основе оценки коллекций растений в светокультуре, поиска и выявления родительских сортов-источников селекционно ценных признаков созданы устойчивые к стеблеванию линии редиса с коротким периодом вегетации, превышающие по продуктивности лучшие из имеющихся сортов на 40–70%, а также гибриды редиса и дайкона, способные формировать товарные корнеплоды массой 100 г и более за 45 суток вегетации при выращивании на малом объеме корнеобитаемой среды (Кочетов, Синявина, 2019; Синявина и др., 2019).

Для оперативного управления состоянием растений и улучшения качественных характеристик получаемой растительной продукции нами разработаны и испытаны новые высокоэффективные и экологически безопасные композиции различного типа: на основе микробных экзометаболитов; на основе наноматериалов производных фуллеренов и кремнезольных наноструктур; на основе вытяжек из растительного сырья (сухой лист стевии (*Stevia rebaudiana Bertoni*)) с высоким содержанием полезных для здоровья человека ингредиентов; усовершенствованы составы хелатных микроудобрений на основе природных материалов: торф, сапропель и др. Выявлен ряд механизмов положительного воздействия биологически активных композиций на почвенно-растительный комплекс в регулируемых и полевых условиях (Panova et al., 2016; Shilova et al., 2018; Panova et al., 2019). Результаты успешных испытаний свидетельствуют о перспективе создания на основе созданных композиций новых форм полифункциональных препаратов и технологий их применения в АПК.

Выделенные нами из проб компоста и с поверхности культивируемых растений микроорганизмы с высокой активностью гидролитических и/или оксигеназных целлюлаз составляют основу разрабатываемых экологически безопасных способов биоконверсии и биокомпостирования растительных остатков для обеспечения безотходности технологии производства растительной

продукции. По результатам оценки динамика активности гидролитических и монооксигеназных целлюлаз (Vaaje-Kolstad et al 2010) в смесях растительных остатков и отработанных субстратов на протяжении их биокомпостирования (Борцова с соавт 2018) выявлено, что активность последних ферментов коррелировала с постепенным уменьшением содержания в компостных смесях ионов меди, являющихся кофактором оксигеназных целлюлаз.

Полученные знания об особенностях продукционного процесса различных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур при их культивировании в моделируемых условиях среды обитания и при агротехнологических воздействиях позволили нам разработать эффективные и экологически безопасные технологии, методы и средства, обеспечивающие оптимизацию световой, корнеобитаемой, воздушной сред и реализацию продукционного потенциала, а следовательно получение высоких урожаев качественной растительной продукции при снижении затрат ресурсов и энергии на ее производство. Это в совокупности служит основой и составными элементами для создания «идеальных агроэкосистем».

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального бюджетного государственного научного учреждения «Агрофизический научно-исследовательский институт» из средств Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, этап № 0667-2019-0013 и в части создания и изучения свойств биологически активных средств на основе наноматериалов – при поддержке РФФИ №. 19-016-00003 А; № 18-33-20238 мол_а_вел; №. 15-29-05837офи_м, РНФ №. 19-13-00442.

Список литературы

1. Архипов М.В., Потрахов Н.Н., Прияткин Н.С., Гусакова Л.П., Щукина П.А., Борисова Н.Р. Неинвазивные технологии экспресс-оценки и отбора биологически полноценных семян для выращивания растительной продукции в вегетационно-облучательном оборудовании нового типа. СПб: АФИ, 2019. 56 с.
2. Борцова О.А., Дубовицкая В.И., Вертебный В.Е., Хомяков Ю.В., Панова Г.Г., Галушко А.С. // *Агрофизика*. 2018. № 4. С. 17–23.
3. Ермаков Е.И. Избранные труды. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2009. 192 с.
4. Кочетов А.А., Макарова Г.А., Мирская Г.В., Синявина Н.Г. Агрофизический подход к созданию новых форм культурных растений // *Агрофизика*. 2012. № 1. С. 40–44.
5. Кочетов А.А., Синявина Н.Г. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. №.1. С. 29–33.
6. Кулешова Т.Э., Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Аникина Л.М., Хомяков Ю.В., Александров А.В., Середин И.С., Феофанов С.В., Щеглов С.А., Галль Н.Р., Панова Г.Г. // *Биофизика*, Том: 65, № 1, 2020. С. 112–124.
7. Мусаев Ф.Б., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Щукина П.А., Бухаров А.Ф., Иванова М.И. // *Картофель и овощи*. 2018. № 6. С. 35–37.
8. Панова Г.Г., Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Александров А.В., Карманов И.В., Аникина Л.М., Судаков В.Л., Якушев В.П. // *Доклады РАСХН*. 2015. № 4. С. 17–21.
9. Прияткин Н.С., Архипов М.В., Гусакова Л.П., Потрахов Н.Н., Кропотов Г.И., Цибизов И.А., Винеров И.А. // *Агрофизика*. 2018. № 2. С. 29–39.
10. Синявина Н.Г., Кочетов А.А., Мирская Г.В., Рушина Н.А., Панова Г.Г., Артемьева А.М. // *Овощи России*. 2018. № 3(41). С. 56–59.
11. Синявина Н.Г., Кочетов А.А., Хомяков Ю.В., Конончук П.Ю., Вертебный В.Е., Дубовицкая В.И., Ткачева А.Ю. // *Овощи России*. 2019. № 3. С. 35–39.
12. Al-Kodmany Kh. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City // *Buildings* 2018, 8, 24.
13. Armandaa D.T., Guinéea J.B., Tukker A. The second green revolution: Innovative urban agriculture's contribution to food security and sustainability – A review // *Global Food Security*, 2019. 22: 13–24.
14. Corvalan, C.; Hales, S.; McMichael, A.J. *Ecosystems and Human Well-Being: Health Synthesis*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2005. 55 p.
15. Dahlberg A., Lindén A. Can Vertical Farms Outgrow Their Cost? An analysis of the competitive strength of vertical farms in Sweden / Master's Thesis E2019:076. 2019. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Gothenburg, Sweden. 90 p.
16. Despommier, D. *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*; Thomas Dunne Books: New York, NY, USA, 2010. 320 p.
17. Healy, R.G.; Rosenberg, J.S. *Land Use and the States*; Routledge: New York, NY, USA, 2013. 309 p.
18. Hughes, S. *Vertical Farming: does the economic model work?* Published by The Nuffield Farming Scholarships Trust Southill Farm, Staple Fitzpaine, Taunton, TA3 5SH. 2018. 61 p.
19. Kanash E.V., Panova G.G., Blokhina S.Yu. // *Acta Horticulturae*, 1009. (2013), p. 37–44
20. Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M. (ed.). *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic press, 2019. 489 p.
21. Kozai T. *Why LED Lighting for Urban Agriculture?* // *LED lighting for urban agriculture*. Springer, Singapore, 2016. P. 3–18.
22. Lu C., Grundy S. *Urban Agriculture and Vertical Farming* // *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 2017. V. 2. Elsevier Inc. P. 393–402.

23. Martin M., Molin E. // *Sustainability* 2019, 11, 4124.
24. Martinez M.A., Priyatkin N.S. and van Duijn B. // *Seed Testing International*. 2018. Vol.1 56. P. 53–56.
25. Oliveira F. B., Ferson S. EmC-ICDSST 2019 on Decision Support Systems: Main Developments & Future Trends Methodology for a Risk Assessment Decision Support System in Vertical Farming / EMC-ICDSST 2019 PROCEEDINGS – online version euro mini international conference on decision support system technology.
26. Panova G.G., Ktitirova I.N., Skobeleva O.V., Sinjavina N.G., Charykov N.A., Semenov K.N. // *Plant Growth Regulation*. 2016. V. 79(3). P. 309-317.
27. Panova G.G., Serebryakov E.B., Semenov K.N., Charykov N.A., Shemchuk O.S., Andrusenko E.V., Kanash E. V., Khomyakov Y.V., Shpanev A.M., Dulneva L.L., Podolsky N.E., Sharoyko V.V. // *Journal of Nanomaterials*. 2019. Article ID 2306518, 13 p.
28. Shilova, O.A., Khamova, T.V., Panova, G.G. et al. // *Glass Phys Chem*. 2018. V. 44: 26.
29. Schueller J.K. Implications for Plant Factories from manufacturing and agricultural equipment technologies. In: *Proceedings of Plant Factory Conference, Kyoto*. 2014:5.
30. Yakushev V., Kanash E., Rusakov D., Blokhina S. Specific and non-specific changes in optical characteristics of spring wheat leaves under nitrogen and water deficiency // *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA) 2017*, 8:2, (2017), p 229–232.
31. Vaaje-Kolstad G., Westereng B., Horn S.J., Liu Z., Zhai H., Sørli M., Eijsink V.G. // *Science*. 2010. Oct 8; 330 (6001). P. 219–222

СЕКЦИЯ
«ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС РАСТЕНИЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И
РЕГУЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ»

**О ВЛИЯНИИ НА КУЛЬТУРНЫЕ РАСТЕНИЯ НОВЫХ
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ
И КРЕМНЕЗОЛЬНЫХ НАНОСТРУКТУР**

Г. Г. Панова¹, К. Н. Семенов², О. А. Шилова^{3,4}, А. М. Артемьева⁵, Е. В. Канаш¹, Н. А. Чарыков⁶, Т. В. Хамова³, Л. М. Аникина¹, Ю. В. Хомяков¹, О. Р. Удалова¹, Д. Л. Корнюхин⁵, В. Е. Вертебный¹, А. М. Шпанев¹, Т. А. Банкина⁷, А. С. Галушко¹, А. С. Журавлева¹, В. В. Шаройко^{2,7}

¹ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);

²Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени И. П. Павлова (СПбГМУ);

³ФГБУН «Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук» (ИХС);

⁴Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»);

⁵ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ФИЦ ВИР);

⁶Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет) (СПбГТИ);

⁷ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ)

Потребность в экологически безопасных биodeградируемых препаратах комплексного положительного действия на растения делает актуальным поиск и разработку новых их форм, обеспечивающих транспортировку в растения макро- и микроэлементов и физиологически активных соединений, обладающих свойствами адаптогенов и фитопротекторов.

В междисциплинарных исследованиях разработаны новые формы препаратов на основе углеродных (водорастворимые полигидроксилированные, карбоксилированные и аминокислотные производные фуллерена C₆₀) и кремнезольных (1÷20 масс% тетраэтоксисилан) наноструктур с добавками макро-, микроэлементов, других физиологически активных соединений, а также наночастиц микроэлементов, и изучено их влияние на продукционный процесс растений в благоприятных регулируемых условиях и при моделировании окислительного стресса, вызванного УФ-В облучением, дефицитом почвенной влаги, пестицидами, фитопатогенами, а также в природных условиях Ленинградской области. Применялись оригинальная одностадийная методика синтеза производных фуллерена: фуллеренола, трис-малоната фуллерена, фуллерена с L-аминокислотами (треонин, оксипролин, аргинин, метионин и др.), золь-гель синтеза наноконпозиций на основе ТЭОС, синтеза наночастиц микроэлементов и новый способ обработки ими семян; методы выращивания растений и диагностики их физиологического состояния по оптическим

характеристикам листьев; стандартные и общепринятые химические, биологические методы оценки процессов в системе почва (почвозаменитель) – растение. Выявлены основные механизмы положительного воздействия созданных наноконструкций на растения и показана перспективность их применения в растениеводстве.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 19-016-00003 А; № 18-33-20238 мол_а_вед; № 15-29-05837офи_м), РНФ (проект № 19-13-00442) и из средств по госзаданию № 0667-2019-0013.

ABOUT INFLUENCE ON CULTURAL PLANTS OF NEW BIOLOGICALLY ACTIVE AGENTS BASED ON CARBON AND SILICON-ZOL NANOSTRUCTURES

G. G. Panova¹, K. N. Semenov², O. A. Shilova^{3,4}, A. M. Artemyeva⁵,
E. V. Kanash¹, N. A. Charykov⁶, T. V. Khamova³, L. M. Anikina¹,
Yu. V. Khomyakov¹, O. R. Udalova¹, D. L. Korniyukhin⁵, V. E. Vertebnyi¹,
A. M. Shpanev¹, T. A. Bankina⁷, A.S. Galushko^{1,3}, A.S. Zhuravleva¹,
V. V. Sharoyko^{2, 7}

¹*Agrophysical Research Institute (API);*

²*Pavlov First Saint Petersburg State Medical University (PSPbGMU);*

³*Institute of Silicate Chemistry of RAS (ICHS);*

⁴*Saint-Petersburg State Electrotechnical University «LETI» (ETU «LETI»);*

⁵*Federal Research Center the Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR);*

⁶*St. Petersburg State technological Institute (Technical University) (SPbSTU);*

⁷*Saint Petersburg State University» (SPbSU)*

The need for environmentally friendly biodegradable preparations with a complex positive effect on plants makes it actual to search for and develop their new forms providing transportation to the plant macro- and microelements and physiologically active compounds with the properties of adaptogens and phytoprotectors.

In interdisciplinary studies, it was elaborated the new forms of preparations based on carbon (water-soluble polyhydroxylated, carboxylated and amino acid derivatives of fullerene C₆₀) and silica and other microelements (1 mass.% – 20 mass.% tetraethoxysilane – TEOS) nanostructures with the addition of physiologically active compounds and their effect on plant production process under favorable controlled conditions and when modeling oxidative stress caused by UV-B irradiation, deficiency of soil moisture, of macro- or microelements content, pesticides, phytopathogens, as well as in natural conditions of Leningrad region was investigated. In researches it was used the original one-step method for the synthesis of fullerene C₆₀ derivatives: fullerenol, tris-malonate fullerene, fullerene with L-amino acids (threonine, hydroxyproline, arginine, methionine, etc.), method for the sol-gel synthesis of nanocompositions based on TEOS, synthesis nanoparticels of microelements and a new procedure for treating the seeds with them; methods for growing plants and diagnosing their physiological state according to the optical characteristics of the leaves; standard and generally accepted chemical, biological methods for assessing processes in the soil (soil substitute) - plants system. The

main mechanisms of the positive effect of the created nanocompositions on plants are revealed and the prospects of their application in crop production are shown.

This work was partially financial supported by the RFBR (projects No. 19-016-00003 A; No. 18-33-20238 mol_a_ved; No. 15-29-05837ofi_m), by the RNF (project No. 19-13-00442) and from state assignment No. 0667-2019-0013.

Потребность в экологически безопасных биodeградируемых препаратах комплексного положительного действия на растения делает актуальным поиск и разработку новых их форм, обеспечивающих транспортировку в растения макро- и микроэлементов и физиологически активных соединений, обладающих свойствами адаптогенов и фитопротекторов. Перспективные источники таких препаратов – водорастворимые производные фуллеренов и кремнезоли. Особенности и механизмы их влияния на растения, а также закономерности трансформации указанных соединений в агро- и экосистемах практически не изучены. Исследовательская работа в данном направлении активно развивается в настоящее время (Andreev et al., 2008; Gao et al., 2011; Kole et al., 2013; Panova et al., 2016; Вардуни и др., 2017; Semenov et al., 2017; Silva et al., 2017; Tripathi et al., 2017; Шилова и др., 2018; Xiong et al., 2018; Dias et al., 2019; Liu et al., 2019; Verma et al., 2019; Vityutskii et al., 2020; Шилова и др., 2020 and other).

В междисциплинарных исследованиях ранее нами разработаны новые формы препаратов на основе углеродных (водорастворимые полигидроксилированные, карбоксилированные и аминокислотные производные фуллерена C₆₀) и кремнезольных (1÷20 масс% тетраэтоксисилан, далее ТЭОС) наноструктур с добавками макро-, микроэлементов, а также других физиологически активных соединений и изучено их влияние на продукционный процесс растений в благоприятных регулируемых условиях и при моделировании окислительного стресса, вызванного УФ-В облучением, дефицитом почвенной влаги, пестицидами, фитопатогенами, а также в

природных условиях Ленинградской области (Panova et al., 2016; Semenov et al., 2017; Шилова и др., 2018; Panova et al., 2019; Шилова и др., 2020).

Целью данной работы является на основе обобщения полученных данных исследований представить основные выявленные особенности влияния созданных углеродных и кремнезольных наноконпозиций на сельскохозяйственные фито тест-объекты при обработке семян и / или вегетирующих растений.

Материалы и методы

В работе использовали синтезированные ранее углеродные, кремнезольные наноконпозиции, а также наночастицы оксида железа или диоксида титана. При этом синтез кремнезольных наноконпозиций на основе 0,1 масс.% – 30 масс.% тетраэтоксисилана – $\text{Si}(\text{OEt})_4$, pH~3 или pH~7 с добавками шихты детонационного наноалмаза, детонационного наноалмаза, диоксида титана в форме анатаза, растворов макро- и микроэлементов и др. осуществляли по оригинальной методике (Патент РФ на изобретение № 2618143, 2017 и др.). Полигидроксилированные, карбоксилированные и аминокислотные производные фуллеренов C_{60} синтезированы по одностадийной методике из индивидуальных фуллеренов, фуллереновой смеси или сажи при помощи водного раствора щелочи и межфазного катализатора (ТВАН) (Патент РФ на изобретение № RU 2495821 С2, 2013 и др.). Концентрации производных фуллеренов C_{60} : 0,001–1100 мг/л воды.

Исследование биологических свойств и влияния синтезированных веществ и препаратов на их основе на растения проводили в серии лабораторных, вегетационных и полевых опытов на биополигонах ФГБНУ АФИ, ФГБНУ ФИЦ ВИР в регулируемых благоприятных условиях и при моделировании окислительного стресса, вызванного УФ-В облучением, дефицитом почвенной влаги, пестицидами, фитопатогенами, а также в природных условиях Ленинградской области. Объектами исследований являлись сорта или гибриды

зерновых (яровые ячмень и пшеница) и овощных (салат, кресс-салат, пекинская капуста, огурец, томат и др.) культур, семена которых получены из коллекции ФГБНУ ФИЦ ВИР и российских селекционно-семеноводческих компаний (Сортсеменовощ, Гавриш, Поиск).

Обработка семян кремнезольями проводили по разработанной ранее методике (Шилова и др., 2018). Морфология поверхности семян до и после предпосевной обработки оценивалась с помощью сканирующей электронной микроскопии, которая была выполнена с использованием растрового электронного микроскопа высокого разрешения Carl Zeiss NVision 40 при ускоряющем напряжении 1 кВ. Для оценки изменения состава поверхности семян использован микрорентгеноспектральный элементный анализ (МРСА), который был выполнен с помощью энергодисперсионного спектрометра Oxford Instruments X-MAX (80 мм²) при ускоряющем напряжении 20 кВ. Количественное определение элементного состава поверхности семян проводили путем усреднения данных МРСА анализа по нескольким точкам.

Изучение биологической активности тестируемых веществ включало определение их влияния на энергию прорастания, всхожесть семян тестовых культур, а также биометрические характеристики роста ее проростков на 7 сутки от замачивания семян. Исследования выполнены в соответствии с правилами международной ассоциации тестирования семян (ISTA) и общепринятыми методами (ГОСТ 12038-84, 1985; International..., 2016). Все эксперименты трижды повторены.

Определение фунгицидной и бактерицидной способности синтезированных производных фуллерена осуществляли по реакции на их присутствие бактериальных и грибных фитопатогенов а) возбудитель сосудистого бактериоза капусты *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (штамм 5212); б) возбудитель фузариоза *Fusarium graminearum* Schwabe. Оценку бактерицидной способности испытуемых веществ проводили по методике

Филатова с соавторами (2010). Оценку фунгицидной способности испытуемых веществ в отношении возбудителя фузариоза *Fusarium graminearum* Schwabe проводили по методике, изложенной в: (Сёмина и др., 2016).

Оценку влияния предпосевной обработки семян ярового ячменя сорта Ленинградский кремнезольными нанокпозициями и аминокислотными производными фуллерена C₆₀ с метионином и с цистеином на устойчивость к возбудителю корневой гнили *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) проводили по следующей методике, описанной в «Методические...», (1976). Для опытов использовали дерново-подзолистую почву, увлажненную до 50–60% от полной влагоёмкости. Исследования проводили в трехкратной повторности. Учет проводили на 20-е сутки. Подсчитывали число растений в каждом стакане, измеряли массу надземной части растения, визуальнo оценивали степень поражения каждого растения, давали оценку поражения в баллах по шкале Гоймана (Гойман, 1954). По завершении каждого вегетационного опыта измеряли биометрические показатели роста растений: общую массу и массу листьев, корней, стеблей, оценивали основные показатели продуктивности.

Условия и методики выращивания растений в серии вегетационных экспериментов в регулируемых условиях интенсивной светокультуры на агробиополигоне Агрофизического института с использованием в качестве корнеобитаемых субстратов: дерново-подзолистую супесчаную почву, питательный раствор, описаны в публикациях: (Panova et al., 2016; Semenov et al., 2017; Panova et al., 2019; Шилова и др., 2020). Физическое моделирование в наиболее уязвимый период развития растений окислительного стресса, вызванного однократным облучением УФ-В радиацией (доза 20 кДж/м²) или дефицитом почвенной влаги (влажность почвы 25–30% от полной влагоемкости на протяжении двух недель), или действием пестицидов – представителями трех классов: инсектицидов (имidakлоприд), фунгицидов (карбендазим) и

гербицидов (глифосат), осуществлялось в соответствии с описанным в публикациях: (Semenov et al., 2017; Panova et al., 2018; 2019)

Для оценки физиологического состояния вегетирующих растений (индексы отраженной от поверхности листьев радиации, площадь ассимилирующей поверхности листьев, активность работы антиоксидантных систем, а именно: интенсивность перекисного окисления липидов, активность каталазы, пероксидазы, содержание активных форм кислорода и др.), показателей их роста и продуктивности, биохимических характеристик, изменений биологических и химических свойств почв, почвозаменителей, особенностей поведения сопутствующих растениям микроорганизмов использовали физические методы экспресс-диагностики (спектрофотометрические), а также стандартные, общепринятые химические и микробиологические методы, описанные нами в публикациях: (Semenov et al., 2017; Панова и др., 2018; Panova et al., 2018; 2019; Шилова и др., 2020)

Статистическую обработку данных проводили с применением программ Excel 2010 и Statistica 8 («Stat-Soft, Inc.» США). Определяли средние значения изучаемых показателей, доверительные интервалы, коэффициенты вариации. Достоверность различий между вариантами оценивали методами параметрической (t-критерий Стьюдента) статистики.

Результаты и обсуждение

Как уже ранее показано (Шилова и др., 2018; 2020), образование пленки – оболочки на поверхности семян после их обработки кремнезольными нанокompозициями с более высоким содержанием кремния и других необходимых для растений макро-, микроэлементов и физиологически активных соединений, обеспечивало:

– регуляцию численности эпифитных микроорганизмов на поверхности семян;

– повышение устойчивости к фитопатогенам вследствие снижения возможности их прямого доступа к поверхности семян;

– предоставление растениям на ранних этапах их развития необходимых элементов питания и энергии;

– регуляцию роста и развития растений на ранних этапах онтогенеза.

Потребность в усилении протекторных свойств композиций и более микроэлемент-ориентированной регуляции состава растений привела к проведению серии экспериментальных исследований с водными суспензиями наночастиц оксида железа или диоксида титана, отличающихся фазовым составом, формой и текстурой, а также кремнезоль с добавками органических полиолов (глицерин, полиэтиленгликоль) и диоксида титана. К настоящему времени выявлено, что водные суспензии магнитных наночастиц, отвечающие составу твердого раствора $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe}_3\text{O}_4$, содержащие оксиды трех- и двухвалентного железа, оказались в низких концентрациях (в концентрациях 0,1 и 10,0 мг/л) более эффективными по сравнению с наночастицами $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в повышении устойчивости растений белокочанной капусты на примере сорта *Penca de Povoá* (к-2558, Portugal) к поражению грибными патогенами, вызывающими черную ножку у капустных культур. Показано, что под влиянием кремнезоль на основе 1 масс% ТЭОС (рН 2-3) с добавками органических полиолов и 0,1% диоксида титана на поверхности семян ячменя обеспечивалось снижение численности грибов, в том числе потенциально патогенных, и увеличение количества потенциально полезных растениям функциональных групп бактерий. При этом отмечалось стимуляция прорастания обработанных указанными кремнезольями семян, роста и развития проростков. Следует отметить, что сами по себе растворы 0,1% диоксида титана, глицерина и полиэтиленгликоля при воздействии на семена не снижают численность грибов на их поверхности, а часто, наоборот, повышают ее. Следует подчеркнуть, что легирование кремнезоль диоксидом титана способствовало существенному

увеличению функционально полезных бактерий, способных разлагать и трансформировать органические и минеральные формы азота. Выявленная оптимизация состава эпифитных микроорганизмов на поверхности семян, косвенно, наряду с прямым действием наноконпозиций, преимущественно положительным образом отражалось на растениях на начальных этапах их развития.

Как ранее показано (Панова и др., 2018), тестируемые полигидроксилированные, карбоксилированные и аминокислотные производные фуллерена C₆₀ в широком диапазоне концентраций не оказывали фунгицидный, фунгистатический и / или бактерицидный, бактериостатический эффекты в отношении ряда фитопатогенных микроорганизмов: возбудителей сосудистого бактериоза капусты *Xanthomonas campestris pv. campestris*; черни колоса злаковых – *Alternaria sp.*; фузариоза – *Fusarium graminearum Schwabe*; тёмно-бурой пятнистости ячменя и корневой гнили – *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur; сухой гнили моркови – *Phoma rostrupii Sacc.* (Панова и др., 2018). В то же время выявлена способность аминокислотных производных фуллерена C₆₀ с метионином или C₆₀ с треонином после обработки семян их растворами в определенных концентрациях повышать устойчивость растений к возбудителю корневой гнили *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.). При этом механизм их положительного влияния не связан с регулированием численности микроорганизмов на поверхности семян, а, по всей видимости, обусловлен комплексным положительным действием производных фуллеренов на растения, приводящим к повышению их «иммунитета». Так, у растений, обработанных растворами фуллеренов в концентрациях 0,001–10 мг, отмечается стимуляция процессов биосинтеза фотосинтетических пигментов, хлорофилла а и b, каротиноидов, каротина и др., активизируется деятельность определенных таксономических и физиологических групп микроорганизмов в корнеобитаемой среде и наблюдается усиление поступления в надземную часть основных

элементов питания, увеличивается водный потенциал листьев, их оводненность, и, вследствие улучшения физиологического состояния растений происходит увеличение значений показателей их роста и продуктивности (Semenov et al., 2017; Panova et al., 2019). На примере некорневой обработки растений огурца (гибрид F₁ Нева) растворами фуллеренола при их выращивании в условиях интенсивной светокультуры на аэрируемом питательном растворе с дефицитом по марганцу или цинку, показано существенное возрастание биодоступности марганца для растений и его потребления ими в присутствии фуллеренолов.

Судя по изменению активности ферментов пероксидаза, каталаза, супероксиддисмутаза, задействованных в окислительно-восстановительных процессах в клетках и тканях растений, а также интенсивности перекисного окисления липидов, содержания активных форм кислорода, в обработанных растворами производных фуллерена C₆₀ растениях наблюдается стабилизация работы антиоксидантных систем в органах растений, что особенно ярко проявляется в условиях окислительного стресса, вызванного УФ-В облучением, дефицитом почвенной влаги и др. (Panova et al., 2019). Ранее показано, что при облучении кончиков корня УФ-В радиацией, предварительно обработанных указанными производными фуллерена C₆₀, показана их способность снижать образование свободных радикалов и ингибировать развитие окислительного стресса в клетках корней растений (Semenov et al., 2017).

Выявленное положительное влияние синтезированных водорастворимых производных фуллерена C₆₀ и кремнезольных наноконпозиций, а также наночастиц оксида железа и диоксида титана в определенных концентрациях на продукционный процесс растений, их устойчивость к возникновению окислительного стресса, высокая эффективность данных веществ в малых концентрациях, и, соответственно, низкая стоимость затрат на их применение, экологическая безопасность свидетельствуют о перспективности дальнейшего изучения механизмов влияния данных веществ на почвенно-растительную

систему с целью создания и использования в растениеводстве высокоэффективных нанопрепаратов на их основе.

Список литературы

1. Andreev I., Petrukhina A., Garmanova A., Babakhin A., Andreev S., Romanova V., Troshin P., Troshina O., DuBuske L. Penetration of Fullerene C₆₀ Derivatives Through Biological Membranes, Fullerenes, Nanotub. Carbon Nanostructures. 16 (2008), p. 89–102. doi:10.1080/15363830701885831.
2. Gao J., Wang Y., Folta K.M., Krishna V., Bai W., Indeglia P., Georgieva A., Nakamura H., Koopman B., Moudgil B. Polyhydroxy Fullerenes (Fullerols or Fullerenols): Beneficial Effects on Growth and Lifespan in Diverse Biological Models, PLoS One. 6 (2011) e19976. DOI: 10.1371/journal.pone.0019976.
3. Kole C., Kole P., Randunu K.M., Choudhary P., Podila R., Ke P.C., Rao A.M., Marcus R.K. Nanobiotechnology can boost crop production and quality: first evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (*Momordica charantia*), BMC Biotechnol. 13 (1), 37. (2013). DOI: 10.1186/1472-6750-13-37.
4. Panova G.G., Ktitirova I.N., Skobeleva O.V., Sinjavina N.G., Charykov N.A., Semenov K.N. Impact of polyhydroxy fullerene (fullerol or fulleranol) on growth and biophysical characteristics of barley seedlings in favourable and stressful conditions. Plant Growth Regulation. 79(3). (2016), p. 309–317. DOI: 10.1007/s10725-015-0135-x.
5. Вардуни Т.В., Серeda М.М., Капралова О.А., Чохели В.А., Вардуни В.М., Шиманская Е.И. Влияние наночастиц диоксида титана на рост и развитие томата (*Lycopersicon esculentum*) в культуре in vitro // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=27318>.
6. Semenov K.N., Andrusenko E.V., Charykov N.A., Litasova E.V., Panova G.G., Penkova A.V., Murin I.V., Piotrovskiy L.B. Carboxylated fullerenes: physico-chemical properties and potential applications. Progress in Solid State Chemistry. 47–48. (2017), p. 19–36. DOI: 10.1016/j.progsolidstchem.2017.09.001.
7. Silva, S., Oliveira, H., Silva, A.M.S., Santos C. The cytotoxic targets of anatase or rutile + anatase nanoparticles depend on the plant species. Biol. Plant. 61. 4. (2017), p. 717–725. <https://doi.org/10.1007/s10535-017-0733-8>
8. Tripathi D.K., Gaur S.S., Singh S, Pandey R., Singh V.P., Sharma N.C., Prasad S.M., Dube N.K., Chauhan D.K. An overview on manufactured nanoparticles in plants: Uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity, Plant Physiology. Biochem. 110: 2(2017). p. 2–12. <https://doi.org/10.1007/s00709-018-1281-6>
9. Шилова О.А., Хамова Т.В. Панова Г.Г., Аникина Л.М., Артемьева А.М., Кирюхин Д.Л. Использование золь-гель технологии для обработки семян ячменя // Физика и химия стекла. 2018. Т. 44. № 1. С. 39–47 [Shilova, O.A., Khamova, T.V., Panova, G.G. et al. Using the Sol–Gel Technology for the Treatment of Barley Seeds // Glass Phys Chem (2018) 44: 26. <https://doi.org/10.1134/S108765961801011X>].
10. Xiong J.-L., Li J., Wang H.-C., Zhang C.-L., Naeem M.S. Fullerol improves seed germination, biomass accumulation, photosynthesis and antioxidant system in brassica napus l. under water stress // Plant Physiology and Biochemistry. 2018. Т. 129. С 30–140.
11. Dias M.C., Santos C., Pinto G., Silva A.M.S., Silva S. Titanium dioxide nanoparticles impaired both photochemical and non-photochemical phases of photosynthesis in wheat. Protoplasma. 256:1 (2019), p. 69–78. <https://doi.org/10.1007/s00709-018-1281-6>.
12. Liu Y., Zang Z., Wu Q., Wang H., He R., Wang T., Cao J., Tai F. Quaternary ammonium salts of iminofullerenes: fabrication and effect on seed germination // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2019. Т. 67. № 49. С. 13509–13517.

13. Verma S.K., Gurel E., Das A.K., Gantait S., Kumar V. Applications of carbon nanomaterials in the plant system: a perspective view on the pros and cons // *The Science of the Total Environment*. 2019. Т 67. С. 85–499.
14. Bityutskii N.P., Yakkonen K.L., Lukina K.A., Semenov K.N. (2020) Fullerenol increases effectiveness of foliar iron fertilization in iron-deficient cucumber. *PLoS ONE* 15(5): e0232765. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232765>.
15. Шилова О.А., Хамова Т.В., Панова Г.Г., Корнюхин Д.Л., Аникина Л.М., Артемьева А.М., Удалова О.Р., Галушко А.С., Баранчиков А.Е. // *Журнал прикладной химии*. 2020. Т. 93. № 1. С. 32–42 [Shilova, O.A., Khamova, T.V., Panova, G.G. et al. Synthesis and Research of Functional Layers Based on Titanium Dioxide Nanoparticles and Silica Sols Formed on the Surface of Seeds of Chinese Cabbage. *Russ J Appl Chem* 93, 25–34 (2020). <https://doi.org/10.1134/S1070427220010036>].
16. Semenov K.N., Meshcheriakov A.A., Charykov N.A., Dmitrenko M.E., Keskinov V.A., Murin I.V., Panova G.G., Sharoyko V.V., Kanash E.V., Khomyakov Yu.V. Physico-chemical and biological properties of C60 – L-hydroxyproline water solutions. *RSC Advances*, 7 (2017), p. 15189–15200
17. Патент РФ на изобретение № 2618143 Способ предпосевной обработки семян ячменя / Шилова О.А., Хамова Т.В., Панова Г.Г., Аникина Л.М. 2017 Бюл. № 13.
18. Патент РФ на изобретение № RU 2495821 С2. Способ получения смеси фуллеренолов / Семенов К.Н., Чарыков Н.А., Намазбаев В.И., Кескинов В.А. 2013 Бюл. № 29/
19. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести, Москва, 1985, 58 с.
20. International Seed Testing Association – ISTA. International Rules for Seed Testing. V. 2016. N 1. P. 1–384. DOI: 10.15258/istarules.2016.f
21. Филатова Л. Б., Лемкина Л. М., Кононова Л. И., Полюдова Т. В., Коробов В. П. Антибактериальное действие катионного пептида варнерина опосредовано активацией аутолитических систем атакуемых бактерий // *Вестник Пермского университета*. 2010. Вып. 1. С. 32–35.
22. Сёмина Ю. В., Щербакова Л. А., Слезина М. П., Одинцова Т. И. Исследование активности экстрактов семян *Chenopodium album* и культуральной жидкости *Fusariumsambucinum* против некоторых фитопатогенных грибов // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. № 5. С. 739–745.
23. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Л.: ВАСХНИЛ, ВИР, 1976.
24. Гойман Э. Инфекционные болезни растений. М.: Изд. Ил, 1954.
25. Панова Г.Г., Семенов К.Н., Шилова О.А., Корнюхин Д.Л., Шпанев А.М., Аникина Л.М., Хамова Т.В., Артемьева А.М., Канаш Е.В., Чарыков Н.А., Удалова О.Р., Галушко А.С., Журавлева А.С., Филиппова П.С., Кудрявцев Д.В., Блохина С.Ю. Влияние углеродных и кремнезольных наноматериалов на устойчивость ярового ячменя к заболеванию корневыми гнилями // *Агрофизика*, 2018. № 3. С. 48–57.
26. Panova G.G., Kanash E.V., Semenov K.N., Charykov N.A., Khomyakov Yu.V., Anikina L.M., Artem'eva A.M., Korniyukhin D.L., Vertebnyi V.E., Sinyavina N.G., Udalova O.R., Kulenova N.A., Blokhina S.Yu. Fullerene derivatives influence production process, growth and resistance to oxidative stress in barley and wheat plants // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 2018, Vol. 53, № 1, p. 38–49. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.38eng.
27. Panova G. G., Serebryakov E. B., Semenov K. N., Charykov N. A., Shemchuk O. S., Andrusenko E. V., Kanash E. V., Khomyakov Yu. V., Shpanev A. M., Dulneva L. L., Podolsky N. E., Sharoyko V. V. Bioactivity study of the C60-L-threonine derivative for potential application in agriculture. *Journal of Nanomaterials*, (2019). 13 p. <https://doi.org/10.1155/2019/2306518>.

**ОЦЕНКА СЕЛЕКЦИОННО ЗНАЧИМЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ
ПРИЗНАКОВ В ПОПУЛЯЦИИ УДВОЕННЫХ ГАПЛОИДОВ
BRASSICA RAPA L. В УСЛОВИЯХ КОНТРАСТНОГО ФОТОПЕРИОДА**

К. В. Егорова, Н. Г. Синявина, А. А. Кочетов, Ю. В. Чесноков

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

Проводилось изучение линий картирующих популяций *B. rapa* в регулируемой агроэкосистеме при 12- и 16-часовом фотопериодах. Показана высокая степень вариации в проявлении количественных признаков у растений, а также значительное влияние длинного светового дня на ускорение перехода к цветению. Полученные данные можно использовать в генетико-селекционной работе и для дальнейшего изучения влияния физических факторов среды на проявление количественных признаков у капустных.

**EVALUATION OF SELECTIVELY SIGNIFICANT MORPHOLOGICAL
CHARACTERS IN THE POPULATION OF DOUBLED HAPLOIDS OF
BRASSICA RAPA L. UNDER CONDITIONS OF A CONTRASTING
PHOTOPERIOD**

K. V. Egorova, N. G. Sinyavina, A. A. Kochetov, Yu. V. Chesnokov

Agrophysical Research Institute

The genus *Brassica* (Cabbage) includes many economically valuable vegetables, oilseeds, spices and forage crops, which makes it representatives ideal objects for studying economically valuable traits. Mapping populations of double haploids (DH) have been successfully used to study quantitative traits, including in cabbage crops. The aim of our work is to study the effect of the photoperiod on the manifestation of morphological traits in mapping populations of *B. rapa* under regulated conditions of the agroecosystem. A regulated agroecosystem makes it possible to study the genotype-environment interaction under given environmental parameters: day length, illumination, temperature, conditions in the root environment.

Several types of economically valuable traits were studied: the timing of the transition to flowering, the growth rate of the plant, the habit and morphological traits of the leaf and leaf rosette. 15 DH30 lines and 31 DH38 lines were used in the work. Mapping populations were grown under photoculture conditions with simulation of short and long photoperiods – 12-hour and 16-hour illumination, other parameters were maintained at an optimal level. A high degree of variation in the manifestation of the studied quantitative traits was shown between lines within a population and between plants within a line. The significant effect of long light hours on the acceleration of the transition to flowering has been shown. The contrast photoperiod did not have such a significant effect on the manifestation of other studied features. The data obtained can be used in genetic selection work, including for obtaining genotypes, lines, and varieties adapted for growing in photoculture, as well as for further studying the influence of physical environmental factors on the manifestation of selectively significant quantitative traits in *Brassica*.

Введение

Род *Brassica* (Капустные) включает в себя множество экономически ценных овощных, масличных, пряных и кормовых культур, что делает представителей капустных идеальными объектами для изучения хозяйственно ценных признаков (Артемьева и др., 2012; Артемьева и др., 2016).

Целью нашей работы является изучение влияния фотопериода на проявление морфологических признаков в картирующих популяциях *B. rapa* в регулируемых условиях агроэкосистемы (РАЭС). Почти все опубликованные данные по изучению морфологических признаков у *B. rapa* получены в полевых условиях без возможности моделирования физических факторов. РАЭС позволяет изучать взаимодействие генотип-среда при заданных параметрах окружающей среды: длина светового дня, освещенность, температура, условия в корнеобитаемой среде (Кочетов и др., 2012).

Материалы и методы

Картирующие популяции ДН-линий *B. rapa*

В работе были использованы 15 линий ДН 30 и 31 линия ДН 38. Популяция ДН38 получена от скрещивания листовой/черешковой китайской капусты и масличного желтого сарсона, популяция ДН30 – в результате гибридизации японской корнеплодной репы и масличного желтого сарсона (Артемьева и др., 2012). Родительские формы относятся к разным ботаническим подвидам, имеют различные продуктивные органы и значительно различаются генетически (Zhao et al., 2005) Популяции созданы в лаборатории селекции растений Университета Вагенингена, Нидерланды (WUR – Wageningen University and Research Centre). Семена ДН линий *B. rapa* L. были любезно предоставлены Артемьевой А. М (ФИЦ ВИР им. Н.И. Вавилова).

Выращивание растений в условиях РАЭС

Изучение селекционно значимых морфологических признаков проводили на биополигоне ФГБНУ АФИ. Картирующие популяции выращивали в условиях

светокультуры с моделированием короткого и длинного фотопериода – при 12- часовом и 16- часовом освещении соответственно, остальные параметры поддерживали на оптимальном уровне.

Пророщенные семена высаживали в горшочки 10x9x9 см, заполненные субстратом на основе верхового торфа с минеральными добавками, рН субстрата 6,0–6,2. Размер выборки – 4–5 растений для каждой линии. Растения выращивали в оригинальной вегетационной светоустановке, оборудованной в качестве источника света лампами ДНаЗ-400 (производитель ООО «Рефлекс»). Освещенность растений составляла 15–20 клк. Полив осуществляли водой, подкормку – раствором Кнопа три-четыре раза в неделю. Температуру поддерживали на уровне $23\pm 3^{\circ}\text{C}$ в течение дня и $21\pm 3^{\circ}\text{C}$ ночью.

Учет морфологических признаков

Растения выращивали до начала перехода к цветению. Учет морфологических признаков вели согласно ранее описанной методике (Егорова и др., 2020., Артемьева и др. 2012).

Полученные результаты и их обсуждение

Картирующие популяции удвоенных гаплоидов (double haploid, DH) успешно используются для изучения количественных признаков, в том числе капустных культур. Все локусы DH линий находятся в гомозиготном состоянии, поэтому они нуждаются только в однократном генотипировании и идеально подходят для анализа количественных признаков (Pink et al., 2008).

В результате работы было проведено описание количественных морфологических признаков *B. rapa* в условиях 12 и 16- часового фотопериода с использованием 15 линий DH 30 и 31 линии DH 38. К достоверно выявленным различиям можно отнести ускорение перехода к цветению на 16- часовом фотопериоде. Такое влияние отмечалось для обеих изучаемых популяций (таблицы 1, 2). На проявление других изучаемых признаков контрастный фотопериод не оказывал столь значимого эффекта. Была показана высокая

степень варьирования описываемых признаков в условиях светокультуры как между линиями, так и между растениями внутри линий. Например, при режиме 12-часового светового дня коэффициент варьирования по признаку “длина черешка” достигал значения более 80%, а по признаку “масса растения” – более 60%. В условиях 16-часового фотопериода самый высокий коэффициент вариации между линиями отмечен для признака «масса растения» – 52,9 % (популяция ДН 38). Полученные результаты согласуются с опубликованными данными, где показана высокая степень варьирования при проявлении морфологических признаков между изучаемыми линиями в зависимости от места и года испытаний (Артемьева и др., 2012; Артемьева и др., 2016).

Таблица 1. Оценка количественных морфологических признаков линий ДН 30 *Brassica rapa* L. в условиях светокультуры

Изучаемый признак	12-часовой фотопериод			16-часовой фотопериод		
	среднее значение	пределы значения признака	вариация (%)	среднее значение	пределы значения признака	вариация (%)
Время до начала цветения (дни)	46,9	31-54	15,6	39,2	26-54	24,2
Диаметр растения (см)	32,9	24,6-43,4	22,5	17,9	26,6-50,0	20,2
Высота растения (см)	22,7	17,6-28,0	16,1	19,3	11,8-30,0	23,7
Масса растения (г)	94,1	36,5-153,3	39,0	80,1	47,9-130,6	32,1
Длина листовой пластинки (см)	14,4	10,7-24,8	25,9	14,5	9,5-25,0	36,7
Ширина листовой пластинки (см)	9,2	7,3-12,4	14,6	10,0	7,6-14,0	17,9
Длина черешка (см)	7,4	0-12,6	25,9	6,1	0-11,0	24,2
Ширина черешка (см)	0,9	0-1,5	25,9	1,2	0-1,6	36,7
Толщина черешка (см)	0,3	0-0,6	42,2	0,5	0-0,7	35,8

Таблица 2. Оценка количественных морфологических признаков линий ДН
38 *Brassica rapa* L. в условиях светокультуры

Изучаемый признак	12-часовой фотопериод			16-часовой фотопериод		
	среднее значение	пределы значения признака	вариация (%)	среднее значение	пределы значения признака	вариация (%)
Время до начала цветения (дни)	44,7	31-53	15,2	35,9	26-49	19,6
Диаметр растения (см)	27,2	19,2-35,0	15,1	29,7	23,4-37,2	13,2
Высота растения (см)	17,4	12,5-26,8	19,0	17,9	11,8-29,4	24,1
Масса растения (г)	67,05	24,3-220,0	63,8	71,8	28,6-152,3	52,9
Длина листовой пластинки (см)	12,3	8,5-22,0	25,6	12,3	9,0-17,0	15,7
Ширина листовой пластинки (см)	9,7	7,5-14,0	15,1	10,3	8,1-11,6	8,9
Длина черешка (см)	4,3	0-10,5	85,9	5,9	0-9,9	38,6
Ширина черешка (см)	1,0	0-1,6	35,1	1,2	0,8-2,86	36,9
Толщина черешка (см)	0,5	0,2-0,8	31,8	0,6	0,4-0,8	16,6

Оцениваемые морфологические параметры листа также имели значительные различия (таблица 3.)

Полученные в результате работы данные могут использоваться для дальнейшего изучения влияния внешних факторов на проявление хозяйственно ценных количественных признаков у капустных культур и в генетико-селекционной работе, в том числе для получения генотипов, линий, и сортов, адаптированных к выращиванию в светокультуре.

Таблица 3. **Морфологические параметры листа в изучаемых популяциях**

Габитус	ДН 30	ДН 38
	Расположение листьев от слабо приподнятых до вверх направленных	Расположение листьев от слабо приподнятых до сильно приподнятых
Тип листа	Встречаются листья цельно сидячие, неясно-лировидные, лировидные, цельные с черешком	
Окраска черешка	От белой до светло-зеленой	
Форма пластинки	Яйцевидная, обратно-яйцевидная, удлинненно-овальная, усеченно-эллиптическая, овальная, округлая	Яйцевидная, обратно-яйцевидная, удлинненно-овальная, овальная, эллиптическая, округлая
Характер поверхности пластинки	Слабо вогнутая, сильно вогнутая, слабо выпуклая, выпуклая, сильно выпуклая	Слабо вогнутая, сильно вогнутая, слабо выпуклая
Характер поверхности ткани пластинки	Гладкая, очень слабо морщинистая, слабо морщинистая, сильно морщинистая, средне пузырчатая, сильно пузырчатая	Очень слабо морщинистая, слабо морщинистая, сильно морщинистая, мелко пузырчатая, средне пузырчатая, сильно пузырчатая
Характер нервации	От редкой до густой	
Характер края пластинки	От очень слабо волнистого до сильно волнистого	
Надрезанность края пластинки	Гладкий, неясно-зубчатый, очень мелко зубчатый, мелко зубчатый, зубчатый	
Окраска пластинки	От светло-зеленой до темно-зеленой	От матовой светло-зеленой до глянцевой темно-серо-зеленой
Опушение пластинки	От отсутствия до слабого	От отсутствия до среднего

Выводы

Изучение картирующих популяций удвоенных гаплоидов *V. para* в контрастных условиях фотопериода (12 и 16 часов) позволило более четко охарактеризовать имеющиеся линии по основным селекционно значимым признакам и проследить влияние светового режима на их проявление. Проведена оценка таких хозяйственно ценных признаков, как сроки перехода к цветению, темпы роста растения, морфологические признаки листа и листовой розетки для двух картирующих популяций *V. para*. Выявлена высокая вариабельность в проявлении изучаемых признаков как между линиями внутри популяции, так и между растениями одной линии. Показано значительное ускорение перехода к

цветению на 16-часовом фотопериоде. Полученные результаты вносят вклад в изучение влияния факторов окружающей среды на реализацию морфологических количественных признаков у капустных растений.

Список литературы

1. Артемьева А.М., Соловьева А.Е., Кочерина Н.В. и др. ДНК маркированные линии двойных гаплоидов *Brassica rapa* L. и идентифицированные QTL, контролирующие хозяйственно ценные признаки для использования в селекции листовых капустных культур // Каталог мировой коллекции ВИР. 2012. № 810. С. 174
2. Артемьева А.М., Соловьева А.Е., Кочерина Н.В. и др. Картирование хромосомных локусов, определяющих проявление морфологических и биохимических признаков качества у культур вида *Brassica rapa* L // Физиология растений. 2016. № 2(63). С. 275–289.
3. Кочетов А.А., Макарова Г.А., Мирская Г.В., Синявина Н.Г. Агрофизический подход к созданию новых форм культурных растений // Агрофизика. 2012. №1 (5). С. 40–44.
4. Pink D., Bailey L., McClement S. et al. Double haploids, markers and QTL analysis in vegetable brassicas. *Euphytica*, 2008, 164 (2), p. 509-514.
5. Zhao J., Wang X., Deng B. et al. Genetic relationships within *Brassica rapa* as inferred from AFLP fingerprints. *Theoretical and applied genetics*, 2005, 110 (7), p. 1301–1314.
6. Егорова К.В., Синявина Н.Г., Кочетов А.А., Чесноков Ю.В. Оценка селекционно значимых морфологических признаков в популяции удвоенных гаплоидов *Brassica rapa* L. в контролируемых условиях регулируемой агроэкосистемы // Овощи России. 2020. № 4. С. 28–31.

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ СКОРОСПЕЛЫХ
ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ФОРМ *RAPHANUS SATIVUS* L. ДЛЯ
СВЕТОКУЛЬТУРЫ И ОТКРЫТОГО ГРУНТА ПРИ ГИБРИДИЗАЦИИ
РЕДИСА И ДАЙКОНА**

А. А. Кочетов, Н. Г. Синявина

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

При использовании оригинальной селекционной методологии ускоренного получения трансгрессивных форм растений с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков получены новые формы редек с высокими темпами роста, устойчивые к стеблеванию, адаптированные к ранневесенним посадкам в открытый грунт Ленинградской области, а также к выращиванию в светокультуре. Они за 50–60 дней вегетации образуют товарные корнеплоды массой 100–200 г, не переходя к стеблеванию. На базе этих линий планируется получить перспективные сорта ультраскороспелого дайкона, адаптированные к различным условиям выращивания (светокультура, открытый грунт Северо-Запада).

**PERSPECTIVES FOR THE CREATION OF *RAPHANUS SATIVUS* L.
EARLY RIPENING HIGHLY PRODUCTIVE FORMS FOR ARTIFICIAL
LIGHT CONDITION AND OPEN GROUND BY HYBRIDIZATION OF
SMALL RADISH AND DAIKON**

А. А. Kochetov, N. G. Sinyavina

Agrophysical Research Institute

In the genus *Raphanus*, there is a wide variety of plant forms with varying degree of manifestation of economically valuable traits (growth rate of the root crop, duration of the growing period, weight, shape and color of the root crop, reaction to photoperiod, etc.). This is especially pronounced for the species *Raphanus sativus* L., which contains a multitude of cultivars from different origins (Europe, Central Asia, Southeast Asia). However, there are no or very small amount of radish varieties with an average duration of the growing season, fast growth rates of root crops and resistance to flowering, which adopted for artificial light conditions or spring planting in open ground of the North-West of Russia. Purpose of this study is to obtain stable transgressive lines of radishes (daikon) with speed growths rates that do not get into flowering for 50–60 days or more and able to form marketable root crops. The specifics of our approach is the purposeful use of controlled conditions at each stage of the breeding process. It significantly reduces the volume and terms of work. At first stage, parental small radish varieties with the maximum root crop diameter and daikon varieties with the maximum root crop length were selected for the subsequent obtaining of transgression forms in terms of productivity. Two radish varieties were collected as the parents (Octava and Viola, which also have resistant to bolting in the intense light culture as well as open field of Leningrad region), and an author's cultivar of daikon Petersburgskiy, that is adapted to the Leningrad region open field conditions. Further, heterotic forms (root weight up to 500% higher than

parent forms) were obtained in these variants of crossing at the first generation. In the F₂ hybrids population, after 42–55 days of vegetation, splitting was observed by weight and shape of the root crop, both when grown in artificial light conditions and in the open fields. Parental forms root weight was in the range of 10–20 g (small radish), 4–10 g (daikon), and 53–98 g (F₁ hybrids). The best F₂ genotypes formed root crops weighing 120–156 g. The most productive genotypes of the hybrid population were selected. They combined high growth rates of root crops with resistance to bolting. After that, ultra-early maturing lines of daikon were obtained, by using inbreeding and stabilizing selection. This lines form commercial root crops weighing 100–200 g without transition to bolting for 50–60 days. In the nearest future it is planned to obtain some new varieties of ultra-ripe daikon, adapted to early spring planting in the open ground of the Leningrad region, as well as to growing under artificial light.

В роде *Raphanus* существует большое разнообразие форм и морфотипов, отличающихся степенью выраженности хозяйственно ценных признаков, для разных целей и направлений использования. Особенно это характерно для вида *Raphanus sativus* L., в котором присутствуют сорта различного происхождения (Европа, Передняя и Юго-восточная Азия), имеющие широкий диапазон варьирования по длительности вегетационного периода, требованиям к условиям выращивания, размерам, форме, цвету и вкусовым характеристикам корнеплода. Так, некоторые европейские сорта редиса образуют товарные корнеплоды массой 10–15 г за 15–18 суток, после чего переходят к стеблеванию и цветению, а сорт дайкона Сакураджима при определенных условиях может расти без цветения более 200 суток, образуя корнеплоды массой 30–40 кг. Существуют и промежуточные формы редек – лобы и среднеазиатские редисы с массой корнеплода 100–200 г, вырастающие за 40–50 дней; однако, они адаптированы к более теплomu климату и короткому дню. Для климатических условий Северо-Запада России не существует высокопродуктивных сортов редек со средней длиной вегетационного периода, быстрыми темпами роста корнеплода и устойчивостью к цветению при весенней посадке. Даже редька Майская, по нашим наблюдениям, в Ленинградской области при весенней посадке уже в июле начинает стеблеваться, как и большинство известных сортов дайкона. Адаптированных для выращивания в светокультуре скороспелых сортов дайкона также не существует.

Скрещивание генетически отдаленных форм, приводящее в ряде случаев к возникновению эффекта гетерозиса у гибридного потомства, хорошо известно. Возможность получения высокопродуктивных гибридов F₁ между редисом и дайконом с массой корнеплода 100–150 г за 42 суток выращивания в светокультуре показана нами в предыдущих работах (Кочетов, Синявина, 2019). Основной целью настоящего исследования являлось получение стабильных трансгрессивных линий редек, обладающих высокими темпами роста корнеплода, не переходящих к цветению в течение 50–60 суток и более, образующих за этот срок товарные корнеплоды, как при выращивании в светокультуре при использовании малообъемной технологии, так и в открытом грунте Ленинградской области.

Особенностью нашего подхода является проведение исследований в регулируемой агроэкосистеме (РАЭС) и использование ее возможностей на каждом этапе селекционного процесса (первоначальная оценка коллекции, отбор перспективных родительских сортов, проведение скрещиваний, оценка гибридов первого и последующих поколений, получение семенного материала и т.д.), что позволяет значительно уменьшить объем и сроки работы. Основной задачей данного исследования стало совмещение положительной трансгрессии по величине корнеплода с отрицательной трансгрессией по скорости репродуктивного развития. На начальном этапе проводили изучение реализации компонентов селектируемого признака (длина и диаметр корнеплода) в контролируемых условиях РАЭС. При оценке коллекции отобранных сортов редиса и дайкона в светокультуре наблюдали значительные различия по темпам роста корнеплода и переходу к стеблеванию. Так, за 28–30 дней вегетации в РАЭС лучшие сорта редиса образовали корнеплоды со средней массой 10–15 г (часть растений при этом стеблевалась), в то время как масса корнеплодов дайкона составила всего 1–5 г. Наличие товарных корнеплодов дайкона (50–100 г) в светокультуре при 16-часовом фотопериоде наблюдали только у малого

количества сортов через 50–60 дней выращивания, другие же переходили к стеблеванию без образования товарных корнеплодов. Для получения трансгрессий по продуктивности в качестве родительских были выбраны устойчивые к стеблеванию в светокультуре и открытом грунте Ленинградской области сорта редиса Октава и Виола с максимальным диаметром корнеплода и сорт дайкона Петербургский, как источник генов, детерминирующих длину корнеплода и длительность вегетационного периода. Такой целенаправленный подбор родителей по принципу благоприятного взаимодополнения компонентов селективируемых признаков позволил уменьшить число прорабатываемых комбинаций скрещивания и способствовал получению гетерозиса по массе корнеплода в первом поколении во всех гибридных комбинациях. Наиболее сильно гетерозис проявился в комбинации скрещивания редис Октава × дайкон Петербургский. За 42 суток вегетации в светокультуре у гибридов сформировались корнеплоды массой 100–150 г, что на 350–400% выше, чем у лучшего из родительских сортов (рис. 1).



Рис. 1. Родители и гибриды F₁ в комбинации скрещивания редис Октава × дайкон Петербургский (верхний ряд: слева направо – редис, дайкон. Нижний ряд – гибриды первого поколения)

Примененный подход также способствовал успешному получению трансгрессивных форм, которые выявляли во втором и последующих гибридных поколениях. У гибридов F₂ в данной комбинации скрещивания наблюдали расщепление по форме и массе корнеплода, как при выращивании в светокультуре, так и в открытом грунте. В гибридной популяции преобладали генотипы, превышающие родительские по массе корнеплода, что в наибольшей степени проявилось при выращивании в открытом грунте (рис. 2, 3).

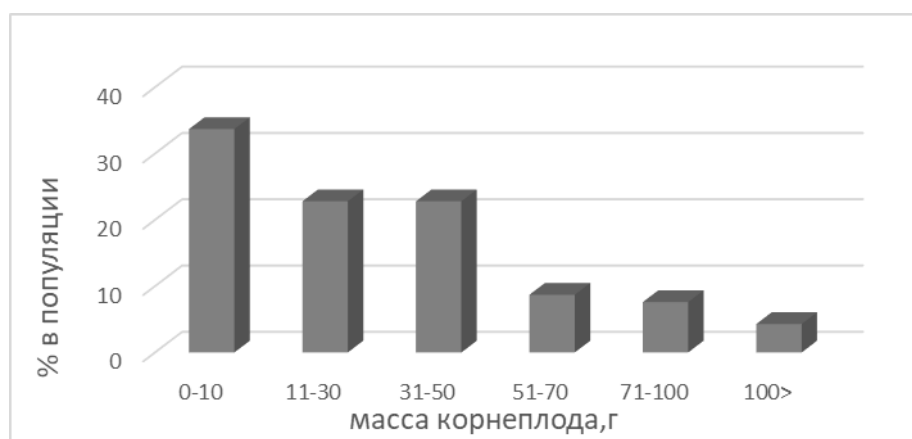


Рис. 2. Расщепление гибридов второго поколения по массе корнеплода в комбинации скрещивания редис Октава × дайкон Петербургский (светокультура)

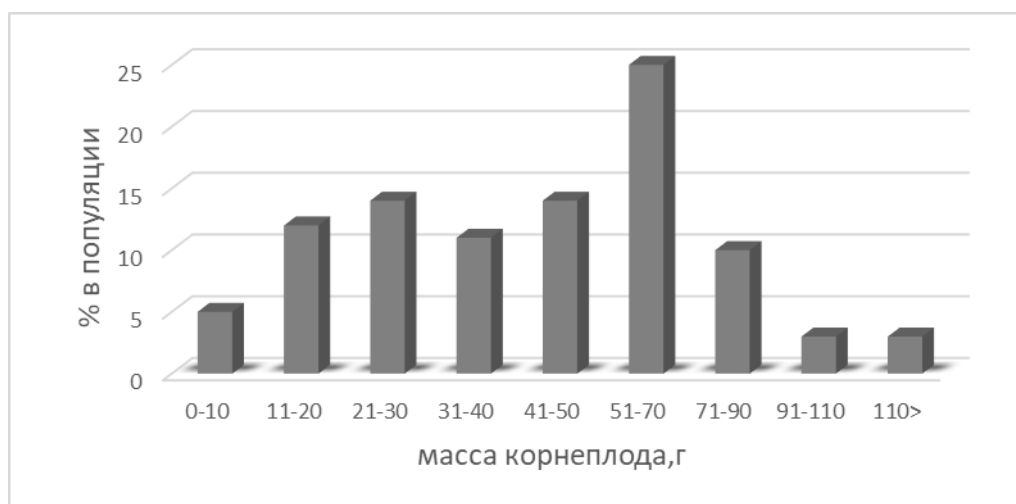


Рис. 3. Расщепление гибридов второго поколения по массе корнеплода в комбинации скрещивания редис Октава × дайкон Петербургский (открытый грунт, АФИ)

В светокультуре (35 суток выращивания) родительские формы редиса по массе корнеплода располагались в диапазоне 13–46 г, дайкона 4–10 г, а гибриды F_1 – 53–98 г. Лучшие генотипы F_2 образовали корнеплоды массой 92–136 г. В открытом грунте при уборке на 53 сутки масса корнеплодов редиса составляла 8–28 г (растения полностью перешли к стеблеванию), дайкона – 14–23 г, F_1 – 49–179 г, лучших генотипов F_2 – 80–156 г.

Среди генотипов, превышающих родительские по массе корнеплода, невозможно было разделить полностью или частично гетерозиготные от гомозиготных (трансгрессивных). Формирование гибридной мощности в обоих случаях происходит за счет комплементации благоприятных для селективируемого признака родительских генотипов, только в одном случае она формируется на фоне гетерозиготного, а в другом – гомозиготного состояния генов компонентных признаков. Предложенный Г. А. Макаровой с соавт. (2009) метод отбора трансгрессивных форм в популяции F_2 за пределами изменчивости популяции F_1 в данном случае не может быть применен из-за того, что трансгрессивный эффект не всегда превышает эффект гетерозиса. Поэтому в гибридной популяции F_2 для дальнейшей селекции отбирали наиболее продуктивные генотипы, сочетающие высокие темпы роста корнеплода с устойчивостью к стеблеванию.

Вероятность выявления во втором поколении трансгрессивных форм при селекции по количественным признакам, детерминируемым даже относительно небольшим числом генов, очень мала и требует выращивания и изучения значительного числа гибридов F_2 . Для получения истинно трансгрессивных гомозиготных форм, как по селективируемым, так и по другим признакам, требуется проведение стабилизирующего отбора в последующих поколениях. У отобранных из популяции F_2 растений-родонач с наибольшей массой, без стеблевания, с хорошей товарной формой корнеплода, проводили самоопыление. В дальнейшем при создании новых линий дайкона,

адаптированных к светокультуре или к открытому грунту, отбор у гибридов 3–4 поколений проводили отдельно в соответствующих условиях – в РАЭС и в полевых условиях. Путем инбридинга и стабилизирующего отбора в 4 поколении получены формы, стабильные по основным селективируемым признакам, существенно превышающие по темпам роста корнеплода исходный сорт дайкона Петербургский, а по массе корнеплода – оба родительских сорта. В открытом грунте эти формы оказались более устойчивыми к стеблеванию, чем родительские сорта редиса, превосходя по темпам роста дайкон Петербургский. Так при майской посадке в открытый грунт Ленинградской области (опыт 2020 г.) на 42 день вегетации растения редиса сортов Октава и Виола имели цветоносы более 20 см (начало стеблевания отмечалось на 32–35 сутки от посева) и сформировали корнеплоды со средней массой 15–17 г. У дайкона Петербургский стеблевания не наблюдалось, масса корнеплода составляла 5–12 г, а среди гибридов F₄ в комбинации скрещивания редис Октава х дайкон Петербургский только у части растений отмечалось начало стеблевания (0–37% от количества растений в зависимости от линии). Средняя масса корнеплодов гибридных растений составляла 34–42 г. У части трансгрессивных форм имелся значительный потенциал роста корнеплода, так как начала стеблевания не было зафиксировано даже на более поздних сроках (рис. 4). Средняя масса корнеплодов гибридных растений в комбинациях Виола х Петербургский и Октава х Петербургский в возрасте 65 суток от посева превышала 100–120 г. Потенциал роста корнеплода у гибридных линий будет определен в дальнейшем в 5–6 поколениях у растений, выращенных из семян наиболее продуктивных устойчивых к стеблеванию генотипов.



Рис. 4. Корнеплоды различных линий F₄ редис x дайкон (в центре и слева) и дайкона Петербургский (справа) в открытом грунте Ленинградской области (65 суток вегетации)

Наш подход, предусматривающий использование РАЭС на различных этапах селекционного процесса, позволил целенаправленно получить формы редек с прогнозируемыми свойствами без изучения традиционно большого числа образцов и в максимально короткие сроки (2–3 года). В перспективе работы – создание ультраскороспелых высокопродуктивных линий дайкона, предназначенных для получения ранних урожаев как в светокультуре, так и в открытом грунте Северо-Западного региона России.

Список литературы

1. Кочетов А. А., Синявина Н. Г. Создание новых форм редиса и редьки (*Raphanus sativus* L.) с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков при использовании методологии ускоренной селекции // Картофель и овощи. 2019. № 10. С. 29–34.
2. Макарова Г. А., Мирская Г. В., Кочетов А. А. и др. Методология прогнозирования трансгрессий по хозяйственно ценным признакам растений // Методические рекомендации. СПб., 2009. 48 с.

СОВРЕМЕННЫЕ СТРАТЕГИИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ КАК РЕГУЛИРУЮЩИЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ РАСТЕНИЙ В ГИДРОПОННОЙ КУЛЬТУРЕ

Н. Г. Осмоловская, Л. Н. Кучаева, С. С. Медведев, А. А. Фролов
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ)

Минеральное питание является важным фактором формирования урожая растительной продукции в гидропонике. Совершенствование режимов питания сопряжено с разработкой различных стратегий коррекции состава растворов в ходе их эксплуатации, в том числе, на разных этапах роста растений. Рассмотрен ряд стратегических приемов, направленных на повышение урожая растений и содержания в них биологически активных метаболитов.

MODERN STRATEGIES OF MINERAL NUTRITION AS A REGULATING FACTOR OF CROP FORMATION IN HYDROPONIC CULTURE

N. G. Osmolovskaya, L. N. Kuchaeva, S. S. Medvedev, A. A. Frolov
Saint Petersburg State University

Hydroponic technologies are widely used in many countries. A global trend in recent years is the development of closed-type plant factories, for which the conditions of mineral nutrition, along with the lighting mode, considered as the most important and easily controlled factors of the environment, ensuring a high and top-quality crop. In this regard, the emphasis is made on the fact that the absorption of basic nutrients by plants, which is especially important for technologies with a closed system of mineral nutrition, occurs at different rates. Namely, nitrate, ammonium, potassium and phosphate ions are absorbed much faster than magnesium, sulfate, and calcium ions, which can lead to dilution of the solution in some ions and concentration in others. Although information on advances in crop management and improving the chemical composition of plants based on modification of mineral nutrition regime in hydroponics is still very limited, some of the proposed strategies can be discussed. These are: differentiation of the nutrient solution composition in accordance with the phases of plant growth to achieve a higher yield; use of the «nutrient stress» method to increase the yield of a number of crops; use of the «mass balance» principle when correcting solutions in a closed cycle of mineral nutrition; minimizing the concentration of nutrient solutions and reducing the level of nitrate in them in order to increase the yield of biologically active secondary metabolites in the leaves of green and spicy-aromatic plants. It concludes that improving the strategy of mineral nutrition of plants in hydroponic culture is undoubtedly a promising direction for obtaining high-quality plant products with an increased yield of useful compounds that meet the physiological and dietary needs of humans.

Гидропонные технологии имеют целый ряд преимуществ перед традиционной почвенной культурой, среди которых экономное использование воды и питательных веществ, высокая технологичность, возможность регулирования температурного и кислородного режима в зоне корней, экологическая чистота и малоотходность производства (Чесноков и др., 1960; Resh, 2013), что послужило основанием для определения гидропонного способа выращивания растений как «биотехнологического процесса получения высококачественной растительной продукции» (Massantini et al., 1988). В настоящее время гидропонные технологии широко распространены во многих странах мира, занимая в целом до 3,5 % тепличных площадей, в том числе, более 13200, 9000 и 3500 га соответственно в Испании, Нидерландах и Италии (Pardossi et al., 2011). Мировым трендом последних лет становится создание растительных фабрик закрытого типа (Luna-Maldonado et al., 2016), для которых условия минерального питания, наряду с режимом освещения, рассматривают как наиболее важные и легко контролируемые факторы среды выращивания, обеспечивающие получение высокого и качественного урожая (Kozai et al., 2015). Тем не менее информация о достижениях в области управления урожаем и химическим составом растений на основе модифицирования режима минерального питания растений в гидропонике, пока весьма ограничена.

Традиционно особое внимание уделяется выбору состава раствора, максимально отвечающего потребностям выращиваемой культуры в элементах питания, что привело к созданию более 500 известных в мировой литературе рецептов питательных растворов, отличающихся по составу и соотношению питательных ионов. При этом концентрации отдельных элементов в растворах, рекомендуемых разными авторами для выращивания одних и тех же культур, могут варьировать в весьма широких пределах (Таблица 1).

Таблица 1. Концентрации макроэлементов в питательных растворах, используемых в коммерческой гидропонике (по Pardossi et al., 2011)

Макроэлементы (ммоль/л)							
Растение	N-NO ₃	N-NH ₄	P	S	K	Ca	Mg
Томат	11–15	1–1.5	1.5–2	3.5–4,5	5–9	3.5–5	2–2.5
Огурец	16–18	1–1.25	1.25–2	1.25–2	5–8	3.5–4	1.5–2
Перец	14–17	1–1.25	1.5–2.5	1.75–2	4–7	4–5	1.5–2
Баклажан	13–17	1.5–2	1.5–2	1.25–2	4–6	3–3.5	2–2.5
Земляника	11–3	1–1.25	1–1.75	1–15	4–6	3–3.5	1–1.5

В базовых руководствах по питанию растений в гидропонике содержатся рекомендации, согласно которым общая концентрация солей в растворе должна находиться в пределах 20–40 ммоль/л или 1–2 г/л, т. к. при меньших концентрациях растения могут испытывать дефицит элементов, а при больших – осмотический стресс (Чесноков и др., 1960; Pardossi et al., 2011). Согласно мнения ряда исследователей разные виды растений могут одинаково хорошо расти и развиваться в стандартных растворах с одним и тем же соотношением шести основных ионов на протяжении всей вегетации, тогда как другие убеждены, что для различных видов растений должны быть свои питательные растворы, а третьи полагают необходимым дифференцировать состав питательного раствора не только по видам растений, но и по фазам их роста и развития для достижения более высокого урожая (Гиль и др., 2012). Прием дифференцированного питания как одна из стратегий повышения урожая давно и с успехом использовался в отечественных тепличных хозяйствах при выращивании томата и огурца (Алиев, 1985), при этом особое внимание обращалось на изменение соотношения в растворе таких основных элементов питания как N:K и K:Ca в зависимости от фазы развития растения и в связи с условиями освещения. Так, при возделывании томата в осенне-зимний период в условиях пониженной интенсивности освещения рекомендуется снижение соотношения N-NH₄: N-NO₃ в растворе до менее 1:3-4 в сентябре–октябре и полное исключение N-NH₄ из состава раствора в ноябре- декабре одновременно

с увеличением соотношения К: N-NO₃ от 1, 5:1 в первые фазы роста до 2,5–3:1 к концу плодоношения. Такая стратегия дифференцированного минерального питания позволила повысить урожай томатов на 20–23% по сравнению с применением питательного раствора стабильного состава (Гиль и др., 2012).

В наших исследованиях была показана возможность повышения урожайности корнеплодных культур в гидропонике на основе программирования режима их минерального питания в онтогенезе растений (Чесноков и др., 1968; Осмоловская и др., 2008; 2017). Так, с использованием приема «питательного стресса» или резкого (в 25 раз) снижения концентрации питательного раствора на поздних этапах онтогенеза растений было достигнуто повышение на 35-40% урожая корнеплодов свеклы и моркови за счет торможения роста надземных органов и усиления оттока из них ассимилятов. Эффективность этой стратегии была продемонстрирована и в отношении значительного снижения аккумуляции нитратов в листьях зеленных культур, в частности, у салата, что сопровождалось одновременным повышением содержания в них анионов органических кислот (рис. 1). Успешным оказался и прием временного замещения нитратной формы азота в питательном растворе на аммонийную, что позволило достичь 2–3-кратного снижения пулов токсичной щавелевой кислоты в листьях амаранта

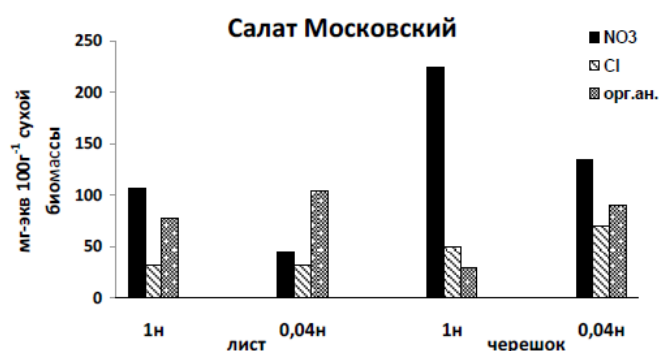


Рис. 1. Влияние приема питательного стресса на аккумуляцию нитрата, хлорида и анионов органических кислот в органах растений салата

В современной зарубежной литературе в последнее время значительное внимание уделяется исследованиям в области эффективного управления питанием растений и формированием урожая в гидропонных системах с замкнутым циклом минерального питания при рециркуляции питательных растворов (Bugbee, 2004). В отличие от открытой системы, приводящей к потерям воды, нутриентов и загрязнению среды, замкнутая система позволяет сэкономить до 35% N, 28% P и 17% K (Pardossi et al., 2011), однако при ее использовании возникает проблема адекватного контроля и коррекции состава растворов в ходе их эксплуатации. Суть вопроса в том, что поглощение основных нутриентов растениями происходит с разной скоростью, а именно, ионы нитрата, аммония, калия и фосфата поглощаются намного быстрее, чем ионы магния, сульфата и кальция (Bugbee, 2004), что может привести к разбавлению раствора по одним ионам и концентрированию по другим. В таком случае общепринятый в коммерческой гидропонике мониторинг величины электропроводности (ЭП) раствора оказывается недостаточно информативным при оценке концентрации отдельных ионов и для принятия решений по коррекции состава раствора. Так, согласно данным (Pardossi et al., 2011), величина ЭП циркулирующего раствора ввиду отмеченных различий в поглощении разных групп ионов может длительно сохраняться на исходном уровне в ходе его эксплуатации, что предполагает выбор соответствующей стратегии коррекции его состава – с использованием только воды, полного раствора или раствора, разбавленного по всем или по одному из ионов.

С учетом того, что частая коррекция состава растворов в случае их быстрого истощения по ряду элементов (N,P,K) ведет к избыточному поглощению и дисбалансу этих элементов в растении, Багби (Bugbee, 2004) сформулировал принцип «масс-баланса», предполагающий, что при коррекции растворов следует учитывать массу нутриентов, присутствующих как в растворе, так и в растении, в связи с чем концентрации быстро поглощаемых ионов в

систематически пополняемом растворе можно поддерживать на относительно низком уровне, вплоть до 0,1–0,5 ммоль/л. Так, при коррекции раствора по содержанию фосфата достаточно его пополнение один раз в день до концентрации 0,5 ммоль/л, чтобы избежать избытка фосфора в растениях и одновременно – ингибирования фосфатом поглощения Fe и Zn.

Другим принципиальным моментом, согласно (Bugbee, 2004), является составление корректирующих растворов с учетом трёх основных стадий жизненного цикла растений (ранний вегетативный, поздний вегетативный и репродуктивный рост), в соответствии с которыми следует дифференцировать состав раствора на стартовый и пополняющие, в том числе, с учетом желаемых концентраций элементов в тканях растений и скорости транспирации на разных этапах онтогенеза растений. Добавляемые растворы должны быть менее концентрированными на поздних этапах как ввиду снижения транспирации, так и в связи с индуцированием оттока запасенных элементов из листьев и стеблей в репродуктивные органы. Последнее положение хорошо коррелирует с ранее сформулированной концепцией питательного стресса (Чесноков и др., 1968) как приема повышения урожайности корнеплодных культур, но несколько противоречит рекомендациям по усилению калийного питания в период массового сбора плодов томата для увеличения содержания в них органических кислот, улучшения вкуса и равномерности окрашивания (Гиль и др., 2012). Очевидно, что при выборе стратегии минерального питания как фактора повышения урожайности, многое зависит от видовых особенностей растения.

Несомненный интерес представляют исследования о регулирующей роли фактора минерального питания в формировании не только урожая, но и биохимического состава растений в гидропонной культуре, однако пока они весьма малочисленны. Ранее (Чесноков и др., 1968) на примере белокочанной капусты было показано, что повышения содержания сахаров в органах этого растения можно достичь с использованием приема питательного стресса. В

работе итальянских исследователей (Falovo et al., 2009), выполненной на растениях салата, было установлено, что повышение концентрации солей в питательном растворе от 2 до 44 мг-экв/л сопровождалось повышением биомассы растений и содержания в них N, P K, Mg и NO₃, тогда как содержание сахаров, крахмала и белка, напротив, снижалось, т.е. высокое качество урожая не обязательно коррелирует с общей высокой продуктивностью.

В последнее время внимание исследователей привлекают вопросы повышения содержания биологически активных вторичных метаболитов в органах растений, культивируемых в гидропонике. Оказалось, что максимальная аккумуляция полифенолов, фенольных кислот и флаваноидов в листьях артишока достигалась при минимальной концентрации питательного раствора (4 мг-экв/л), в то время биомасса и уровни минеральных элементов в растениях достигали максимума на растворе с концентрацией 52 мг-экв/л (Rouphael et al., 2012). Наряду с общей концентрацией солей, важным фактором, влияющим на синтез вторичных метаболитов, могут быть концентрация и соотношение NO₃ и NH₄ форм азота в питательном растворе. Так, в отношении базилика было показано, что снижение концентрации нитрата в растворе от 160 до 25 мг/л провоцировало трехкратное возрастание суммы фенолов в его листьях (Argyropoulou et al., 2015), а снижение концентрация нитрата с 10 до 5 ммоль/л увеличивало содержание розмариновой кислоты в листьях базилика без потери продуктивности растений (Kiferle et al. 2013), что было интерпретировано с позиции перераспределению углеводов на синтез вторичных метаболитов, участвующих в адаптации растений к N стрессу.

Таким образом, можно заключить, что совершенствование стратегии минерального питания растений в гидропонной культуре несомненно является перспективным направлением для получения высококачественной растительной продукции с повышенным выходом биологически активных метаболитов, отвечающей физиологическим и диетическим потребностям человека.

Список литературы

1. Алиев Э.А. Выращивание овощей в гидропонных теплицах. Киев: Урожай, 1985. 160 с.
2. Гиль Л. С., Пашковский Л. И., Сулима Л. Т. Современное овощеводство закрытого и открытого грунта: Практическое руководство. Житомир: Рута. 2012. 465 с.
3. Осмоловская Н. Г., Батов А. Ю., Кучаев В. А., Кучаева Л. Н., Медведев С. С. Разработка и внедрение технологий регулирования роста, продуктивности и биохимического состава растений в гидропонной культуре // Фундаментальные основы инновационных биологических проектов в «Наукограде». Труды Биол. НИИ СПбГУ. Вып. 54. СПб.: Изд-во С.-Петербур. Ун-та. 2008. С. 156–178.
4. Осмоловская Н. Г., Кучаева Л. Н., Ву В. З., Попова Н. Ф. Гидропонные технологии в управлении урожаем и качеством растительной продукции // Агрофизика. 2017. № 2. С. 19–29.
5. Чесноков В. А., Базырина Е. Н., Бушуева Т. М., Ильинская Н. Л. Выращивание растений без почвы. Л.: ЛГУ, 1960. 171 с.
6. Чесноков В. А., Мирославова С. А., Баранова А. А., Васильева Л. А., Рябова Р. Ф., Титлянова Н. М. О системе питания растений в гидропонике // Вопросы корневого питания растений. Л.: ЛГУ, 1968. С. 6–24.
7. Argyropoulou K., Salahas G., Hela D., Papasavvas A. Impact of nitrogen deficiency on biomass production, morphological and biochemical characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants, cultivated aeroponically// Agriculture and Food. 2015. V. 3. P. 32–42
8. Bugbee, B. 2004. Nutrient Management in Recirculating Hydroponic Culture // Proceedings of the South Pacific Soilless Culture Conference. M. Nichols, (ed.). Acta Hort 648: 99–112.
9. Fallovo C., Roupheal Y., Rea E., Battistellid A., Colla G. Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa* L. var. acephala in floating raft culture// J Sci Food Agric. 2009. V. 89. P. 1682–1689
10. Kiferle, C, Maggini, R & Pardossi, An Influence of nitrogen nutrition on growth and accumulation of rosmarinic acid in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) grown in hydroponic culture // Australian Journal of Crop Science. 2013. V. 7. N 3. P. 321–327.
11. Kozai T., Niu G. and Takagaki M.(eds). Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Academic Press: Cambridge. 2015. 477 p.
12. Luna-Maldonado A.I., Vidales-Contreras J.A., Rodríguez-Fuentes H. Editorial: Advances and Trends in Development of Plant Factories // Front. Plant Sci. 2016. V. 7:1848. DOI: 10.3389/fpls.2016.01848
13. Massantini F., Favilli R., Magnani G., Oggiano N. Soilless culture, biotechnology for high quality vegetables // Soilless culture. 1988. V. 4, N 2. P. 27–40
14. Pardossi A., Carmassi G., Diara C., Incrocci L., Maggini R., Massa D. Fertigation and substrate management in closed soilless culture. Pisa: Università di Pisa. 2011. 63 p.
15. Resh H. W. Hydroponic Food Production. A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. 7-th edition. Boca Raton, London, NY: CRC Press. Taylor & Francis Group. 2013. 560 p.
16. Roupheal Y., Cardarelli M., Lucini L., Rea E., Colla G. Nutrient solution concentration affects growth, mineral composition, phenolic acids, and flavonoids in leaves of artichoke and cardoon. HORT SCIENCE. 2012. V. 47. N. 10. P. 1424–1429.

**ВЛИЯНИЕ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА ИЗ ЛИСТЬЕВ СТЕВИИ
(*STEVIA REBAUDIANA* BERTONI) НА УРОЖАЙ И БИОХИМИЧЕСКИЕ
ПОКАЗАТЕЛИ САЛАТА И РЕДИСА В СВЕТОКУЛЬТУРЕ**

Н. Г. Синявина, А. А. Кочетов, К. В. Егорова, В. Е. Вертебный,
Ю. В. Хомяков

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

В работе показано, что водный экстракт из листьев стевии обладал эффектом биостимулятора, повышая урожай и биологическую ценность растительной продукции в условиях светокультуры. Некорневая обработка экстрактом достоверно снижала процент застеблевавшихся растений и увеличивал выход товарных корнеплодов у редиса, у салата достоверно повышала сухую массу растений и содержание фотосинтетических пигментов, витамина С и сахаров, а также способствовала уменьшению содержания нитратов.

**INFLUENCE OF AN AQUEOUS EXTRACT FROM STEVIA
(*STEVIA REBAUDIANA* BERTONI) LEAVES ON THE YIELD AND
QUALITY OF LETTUCE AND SMALL RADISH IN PHOTOCULTURE**

N. G. Sinyavina, A. A. Kochetov, K. V. Egorova, V. E. Vertebniy,
Yu. V. Khomyakov

Agrophysical Research Institute

An aqueous extract from the leaves of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) contains diterpene glycosides, proteins, amino acids, phenols and other compounds with physiological activity. It was shown, that some solutions of steviol glycosides have gibberellin-like effect in relation to plants for foliar and seed treatment. In the present work, we have researched the effect of stevia leaf extract on lettuce and small radish plants in photoculture (light source – lamps DNAZ-250 and DNAZ-400, illumination – 10–20 klux, 12-hour photoperiod, temperature – 22±2°C day, 18±2°C night). Plant photoculture is an intensively developing area of agricultural production (e.g. plant factories, city farming, vertical farming).

For foliar treatment of lettuce and radish, an aqueous extract from dry stevia leaves from the collection of the FGBNU API was used. Extraction was carried out with hot water (80°C) from a finely ground 1 g sample of leaves three times (20 min in thermostat for every time) successively in portions of 20 ml. The final volume of the extract was adjusted to 100 ml with hot water. For foliar treatment, dilutions of the extract with water in ratios of 1:10, 1:50, and 1: 100 were used. The treatment of lettuce var. Typhoon and radish var. Riesenbutter was carried out twice during the growing period: lettuce on days 20 and 27 after sowing, radish on days 13 and 20 after sowing. Peat with mineral additives was used as a substrate. Harvesting was done one week after the last treatment. The structure of the yield of lettuce and radish and the biochemical analysis of lettuce leaves (dry matter, photosynthetic pigments, anthocyanins, vitamin C, sugars, nitrates) were investigated.

It is shown, that foliar treatment of lettuce and radish plants with an aqueous extract from dry stevia leaves has a complex positive effect. It was expressed in an increase in the wet and dry mass of plants, an increase in the quality and biological value of lettuce leaves (an increase in the content of chlorophylls, carotenoids, sugars, vitamin C, a slight decrease in the content of nitrates). Dilutions of the mother extract (with the SG content

in a dry leaf in the range of 10–15%) 1:50 and 1: 100 are recommended for use for foliar treatment of plants in photoculture.

Введение. В мировом сельскохозяйственном производстве в настоящее время наблюдается высокая ориентированность на экологическую чистоту и безопасность для здоровья человека производимой продукции, востребованными у потребителя являются продукты органического земледелия, где одно из основных требований – это использование нетоксичных или малотоксичных биоразлагаемых препаратов, к которым относятся в том числе стимуляторы роста растений на основе природного сырья. Физиологические эффекты от применения биостимуляторов заключаются в положительном влиянии на всхожесть семян, ростовые процессы у растений, количество и размеры продуктивных органов; качественные характеристики овощей и плодов, биологическую ценность растительной продукции (Яхин и др., 2016). Сырьем для производства биостимуляторов служат различные органы растений (листья, плоды, семена, корни), часто используется водная экстракция как наиболее простой экологически безопасный метод их получения. С другой стороны, в последнее десятилетие происходит мощное развитие и распространение новейших агротехнологий – ситифермерства, или растительных фабрик, в которых культивирование растений максимально автоматизировано и происходит в непосредственной близости к потребителю (в городской среде), в изолированных от окружающей среды помещениях на ярусных установках с применением искусственного света, малообъемных технологий и гидропонных методов выращивания. В таких комплексах предъявляются особые требования к качеству продукции и экологической безопасности производства, что делает актуальным поиск и создание новых, простых и недорогих в производстве и использовании биостимуляторов природного происхождения, обладающих комплексным положительным эффектом, повышающих эффективность и рентабельность выращивания сельскохозяйственных культур.

Сухой лист стевии – коммерческий продукт, который в настоящее время в больших объемах продается на рынке пищевых продуктов и сырья в качестве низкокалорийного подсластителя. Он содержит 10–15% (у некоторых специально отселектированных генотипов до 20%) стевииолгликозидов (СГ), основные из которых по присутствию в растениях, как правило, стевииозид и ребаудиозид А. Стевииолгликозиды по структуре подобны гиббереллинам и формируются в растениях по общему с гиббереллинами метилэритритолфосфатному пути биосинтеза, для них, в частности, стевииозид, выявлен гормоноподобный эффект в отношении растений. Кроме сладких гликозидов, в листьях стевии содержится до 20% белка, до 10% свободных аминокислот, полифенолы, жирные кислоты, витамины, минеральные элементы. В научных публикациях показана высокая антиоксидантная активность экстрактов из листьев стевии, которая определяется, прежде всего, высоким содержанием фенолов и флавоноидов. Большинство из содержащихся в листьях стевии соединений хорошо экстрагируется горячей водой и может определять биологическую активность экстрактов. Нами ранее было показано стимулирующее влияние некорневой обработки экстрактом из листьев стевии на проростки и вегетирующие растения в светокультуре (Кочетов и др., 2017), настоящие исследования служили продолжением работы в направлении изучения свойств экстракта и технологических аспектов его применения.

Цель работы – изучить влияние водного экстракта из листьев стевии на урожай и качество листовой (салат) и корнеплодной (редис) овощных культур в условиях интенсивной светокультуры.

Материалы и методы. Для получения сухого листа использовали образцы стевии из коллекции ФГБНУ АФИ, выращенные в светокультуре. Листья, высушенные в течение 24 часов при температуре 80°C, измельчали до состояния пудры. Для получения маточного экстракта навеску массой 1 г помещали в колбу объемом 100 мл и добавляли 20 мл горячей (80°C) воды, колбу помещали в

термостат на 30 минут при температуре 80°C с последующей фильтрацией экстракта в мерную колбу через бумажный фильтр. Экстракцию навески проводили таким образом троекратно, объединяя экстракты, конечный объем экстракта доводили горячей водой до 100 мл. Содержание СГ (стевиозид и ребаудиозид А) в маточном экстракте анализировали по Руководству (Руководство, 2004).

В качестве объекта исследований служили салат с. Тайфун и редис с. Ризенбуттер. Растения салата и редиса выращивали в светокультуре в оригинальных светоустановках (источники света – лампы ДНАЗ 400 и ДНАЗ 250) (Панова и др., 2015), освещенность составляла от 10 до 20 клк, температура – 22±2°C днем и 18±2°C ночью. Для полива использовали воду, для подкормок – питательный раствор Кнопа. Провели двукратную некорневую обработку растений в вариантах разведения маточного экстракта 1:10, 1:50 и 1:100, контрольные растения обрабатывали водой. Уборку проводили через неделю после последней обработки – на 33 сутки для салата и на 27 – для редиса. Учет структуры урожая и анализ качества растительной продукции проводили по стандартным методикам: сухое вещество, моно- и дисахариды, сумма сахаров, хлорофилл а, b, сумма хлорофиллов, каротиноиды, антоцианы – по Методам (Методы, 1987), витамин С – по Руководству (Руководство, 1998), нитраты – по МУ № 5048-89 (МУ, 1989). Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программного обеспечения Excel 2010.

Результаты и обсуждение. Суммарное содержание сладких гликозидов (стевиозида и ребаудиозида А) в маточном экстракте составляло 1±0,1 г/л. Некорневая обработка экстрактом из листьев стевии не оказывала достоверного влияния на размеры и массу корнеплодов редиса, но влияла на рост надземной части. Отмечалось торможение роста листовой розетки и уменьшение размеров и массы листьев в варианте 1:10, по-видимому, вследствие повышенной концентрации биологически активных соединений в данном разведении, а также

тенденция к увеличению количества и размеров листьев в варианте 1:100. Наблюдалось достоверное снижение числа застеблевавшихся растений под влиянием обработки во всех вариантах опыта (на 34–51% по сравнению с контролем в зависимости от варианта разведения маточного экстракта). Под влиянием экстракта на 8–20% увеличивалось содержание сухого вещества в листьях редиса. Обработка редиса экстрактом в разведении 1:100 достоверно повышала урожай корнеплодов – на 25%, главным образом за счет увеличения количества товарных корнеплодов.

Некорневая обработка экстрактом из стевии в разведениях 1:50 и 1:100 повышала сырую и сухую массу растений салата, а также биологическую ценность листьев: на 4–28% увеличивалось содержание фотосинтетических пигментов (Хл а, b, каротиноидов), на 26–35% суммы сахаров (главным образом за счет дисахаридов), на 6–27% – витамина С и на 2–11% снижалось содержание нитратов. Разведение 1:10, по-видимому, содержало избыточные для некорневой обработки количества биологически активных соединений, и, хотя оно не оказывало негативного эффекта на урожай и качество листьев салата, но в них на 80% по сравнению с контролем увеличивалось содержание антоцианов – пигментов, синтез которых в растениях возрастает в результате различного рода стрессовых воздействий.

Положительный эффект от применения экстракта стевии объясняется, по-видимому, гормоноподобным действием сладких гликозидов, которое для веществ с гиббереллиноподобными свойствами заключается, в частности, в удлинении стеблей растений, росте числа междоузлий и размеров листьев – увеличении параметров, непосредственно влияющих на надземную массу. Однако, и другие экстрагируемые из стевии соединения (белки, аминокислоты, вещества фенольной природы и др.) обладают способностью при определенных концентрациях стимулировать рост растений и повышать качество продукции, поэтому можно сделать вывод о комплексном положительном действии

экстракта стевии на салат и редис в светокультуре, которое определяется его ценным биохимическим составом.

Заключение. Показан комплексный положительный эффект от некорневой обработки растений салата и редиса водным экстрактом из сухих листьев стевии. Он выражается в прибавке сырой и сухой массы и урожая растений, повышении качества и биологической ценности растительной продукции. Рекомендованными к применению для некорневой обработки растений в светокультуре могут служить разведения маточного экстракта (при содержании СГ в сухом листе в пределах 10–15%) 1:50 и 1:100, разведение 1:10, согласно полученным нами данным, может тормозить рост надземной части и в определенной мере вызывать стресс у растений, о чем свидетельствует увеличение содержания антоцианов в листьях салата. Эффект от применения экстракта из листьев стевии сходен с таковым от применения препаратов на основе фитогормонов и некоторых биостимуляторов с гормоноподобными свойствами растительного и микробного происхождения, при этом экстракт стевии экологически безопасен, прост и дешев в получении благодаря доступности сухого листа на рынке пищевых продуктов.

Список литературы

1. Яхин О. И., Лубянов А. А., Яхин И. Ф. Физиологическая активность биостимуляторов и эффективность их применения // *Агрохимия*. 2016. № 6. С. 72–94.
2. Кочетов А.А., Синявина Н.Г., Мирская Г.В. и др. Влияние водных экстрактов стевии на рост и нетто-продуктивность овощных культур // *Агрофизика*. 2017. № 4. С. 38–47.
3. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. Р.4.1.1672-03. М.: Минздрав России, 2004. 368 с.
4. Панова Г.Г., Черноусов И.Н., Удалова О.Р. и др. Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2015. № 4. С. 17–21.
5. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1987. 430 с.
6. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / Под ред. В.А. Тутельяна, И.М. Скурихина. М.: Брандес-Медицина, 1998. 342 с.
7. МУ 5048-89. Методические указания по определению нитратов и нитритов в продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1989. 52 с.

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ГЕНОТИПОВ ВИНОГРАДА

Е. Г. Александров¹, В. Ф. Ботнар¹, Б. С. Гаина²

¹*Институт генетики, физиологии и защиты растений, Республика Молдова;*

²*Академия Наук Молдовы*

Внутривидовые генотипы имеют широкую пластичность использования, но в то же время они не обеспечивают преодоления условий изменения климатических факторов. Анализ кривой световой насыщенности для фотосинтеза позволяет воспринимать экофизиологические характеристики вида, и, в свою очередь, эти показатели позволяют сравнивать разные генотипы растений в более или менее сходных условиях, определяя, таким образом, продуктивность и устойчивость к факторам окружающей среде. Таким образом, было установлено, что межвидовые генотипы винограда (*Vitis vinifera* L. x *Muscadinia rotundifolia* Michx.) демонстрируют более высокие показатели продукционного процесса, чем внутривидовые генотипы винограда.

CLIMATE CHANGE TREND AND PRODUCTIVITY OF GRAPE GENOTYPES

E. Gh. Alexandrov¹, V. F. Botnari¹, B. S. Gaina²,

¹*Institute of genetics, physiology and plant protection, republic of Moldova;*

²*Academy of Sciences of Moldova*

Climate change makes it necessary to create genotypes of plants that will be able to develop and provide high yields under the new pedoclimatic conditions and, at the same time, will contribute to the mitigation of desertification processes. Interspecific genotypes, in terms of possible uses, show high plasticity, but may not be able to overcome the barrier set by climatic change. The analysis of the photosynthesis-irradiance curve allows understanding the ecophysiological traits of a species and, in turn, these indices allow us to compare different genotypes of plants under more or less similar conditions, thus determining the potential productivity and resistance to environmental factors. Global warming will increase the frequency of days with extremely high temperatures, which can directly affect the agricultural sector. Climate change will have a negative impact on the quality and productivity of agricultural crops and, in the case of failure to take adaptation measures, the agricultural sector will suffer colossal damage. The goal of this research has been to evaluate the parameters of the photosynthesis-irradiance curve of the intraspecific and interspecific genotypes of grapevine, thus determining their productivity and resistance to biotic and abiotic factors. The dependence of photosynthesis on solar irradiance has allowed evaluating the efficiency of the use of light energy by the genotypes of grape vine. Thus, it has been found that the interspecific genotypes of grapevine (*Vitis vinifera* L. x *Muscadinia rotundifolia* Michx.) are more effective in the production process than the intraspecific genotypes of grapevine.

Введение

Изменения климатических факторов обуславливают создание генотипов растений, которые будут развиваться и обеспечивать повышенную производительность в новых педоклиматических условиях, и в то же время будут способствовать смягчению процессов опустынивания.

Внутривидовые генотипы имеют широкую пластичность использования, но в то же время они не обеспечивают преодоления барьера изменения условий окружающей среды. Таким образом, принимая во внимание функциональность генотипов и использование алгоритмов и методологии межвидовой гибридизации, могут быть созданы ризогенные межвидовые генотипы, которые смогут преодолеть барьер изменения климатических факторов. Адаптация растений к условиям климатических факторов окружающей среды является результатом процесса «эволюционной адаптации» экофизиологических характеристик генотипа. Для определения стратегии адаптации генотипов были определены некоторые устойчивые характеристики структуры растения, показатели роста, которые можно использовать параллельно с физиологическими процессами, такими как: фотосинтез, дыхание, транспирация и т. д. Создание зависимости фотосинтеза от солнечного излучения позволяет оценить эффективность использования энергии света растительным организмом, этот принцип установлен в генетическом коде, представленном механизмом использования энергии света и превращения неорганических биогенных соединений в органические вещества. Кривая световой насыщенности для фотосинтеза позволяет воспринимать экофизиологические характеристики вида, и, в свою очередь, эти показатели позволяют сравнивать различные генотипы растений в более или менее сходных условиях, определяя, таким образом, способность к продуктивности и устойчивость к факторам окружающей среды (Alexandrov, 2017; Irimia, 2012; Амирджанов, 1980; Ильницкий, Плугатарь, Корсакова, 2018). Целью настоящего исследования является оценка параметров

кривой световой насыщенности для фотосинтеза у внутривидовых и межвидовых генотипов винограда, таким образом, определяя интенсивность продукционного процесса и устойчивость к биотическим и абиотическим факторам окружающей среды

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были использованы межвидовые ризогенные генотипы винограда (*V. vinifera* L. × *M. Rotundifolia* Michx.): Александрина, Аметист, Аугустина, Нистряна, Малена и ВС₃-536, сложные межвидовые генотипы Регент и Виорика, и внутривидовой генотип (*V. Vinifera* L.) Мускат Александрийский. В результате исследований были оценены фотосинтетическая активность, потоотделение, дыхание, проводимость устьиц в зависимости от климатических условий, таких как: температура, влажность, концентрация CO₂ и другие факторы, на основе физиологического элемента - кривой насыщенности света для фотосинтеза. Процесс мониторинга был выполнен с помощью аппарата РТМ-48А, который позволяет проводить измерения в виде кардиограммы в автоматическом режиме с интервалом 10 минут в течение 24 часов. Были использованы растения в открытом грунте, на неповрежденных листьях, расположенных в средней части побега. Статистическая обработка данных была сделана с помощью программы Statistica 10 (Statsoft INC, USA) и Microsoft Excel 2010. (Амирджанов, 1980; Ильницкий, Плугатарь, Корсакова, 2018).

Результаты и обсуждения

Оценка фотосинтеза позволяет установить взаимные связи с метаболическими процессами растительного организма. Солнечная радиация является решающим фактором в продукционном процессе, и без сложной оценки невозможно определить уровень производительности генотипов. Исходя из фотосинтетической активности растений установлено, что биологическая и сельскохозяйственная продуктивность генотипа обусловлена эффективным

использованием активной фотосинтетической радиации. Поскольку процесс дыхания происходит одновременно с фотосинтезом, для получения значения реальной интенсивности фотосинтеза необходимо внести соответствующие изменения в интенсивность наблюдаемого фотосинтеза. Таким образом, мы получаем прирост массы на единицу площади поверхности листа или всего растения, которая может определять продуктивность фотосинтеза (Şişcanı, 2018).

Таблица 1. Фотосинтетическая активность генотипов винограда в соотношении к температуре

Температура, °С	Фотосинтез, micromol (CO ₂)/m ² *s		
	Мускат Александрийский	Агустина	Аметист
20	7,2	9,2	10,8
25	10,9	13,4	13,4
30	12,8	13,3	13,9
36	9,2	12,5	12,5

Исходя из данных кривой световой насыщенности для фотосинтеза, констатируем факт, что межвидовые генотипы винограда демонстрируют более высокую эффективность, чем внутривидовые генотипы винограда (таб. 1–2; рис. 1–4).

Таблица 2. Фотосинтетическая активность генотипов винограда в зависимости от интенсивности света

Интенсивность света - RTH/RPAR, (micromol/m ² *s)	Фотосинтез, micromol (CO ₂)/m ² *s		
	Мускат Александрийский	Агустина	Аметист
322	11,7	12,8	16,4
504	10,9	13,4	13,4
1009	12,7	14,2	16,3
1591	12,5	13	16,2
2002	12,9	14,2	14,4

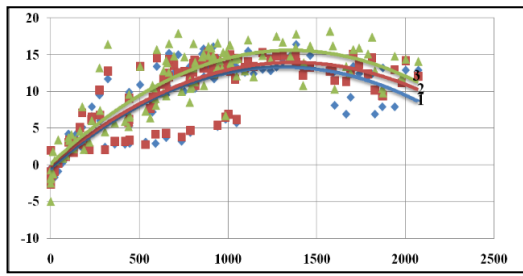


Рис. 1. Кривые светового насыщения для фотосинтеза.
(1. Мускат Александрийский. 2. Аугустина. 3. Аметист)

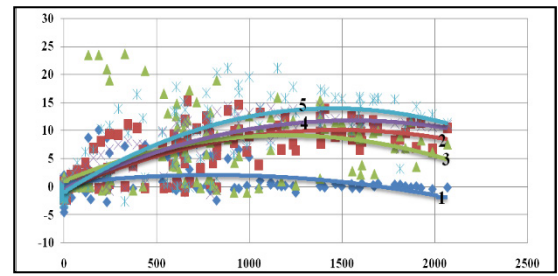


Рис. 2. Кривые светового насыщения для фотосинтеза.
(1. Мускат Александрийский. 2. Малена. 3. Александрина. 4. ВС₃-536. 5. Нистряна)

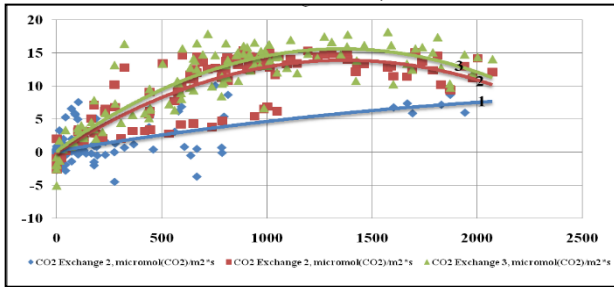


Рис. 3. Кривые светового насыщения для фотосинтеза.
(1. Регент. 2. Аугустина. 3. Аметист)

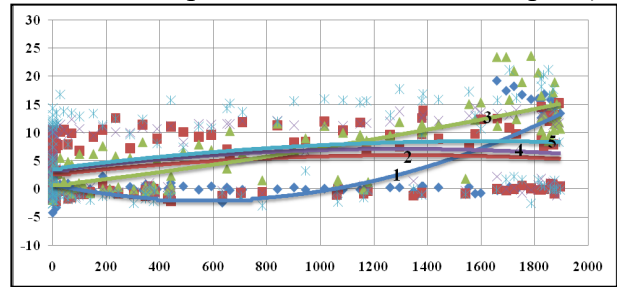


Рис. 4. Кривые светового насыщения для фотосинтеза.
(1. Регент. 2. Малена. 3. Александрина. 4. ВС₃-536. 5. Нистряна)

Было установлено, что феномен изменения климата прогрессирует и ускоряется, особенно на протяжении последних трех десятилетий. Согласно расчетам экспертов межправительственной группы по изменению климата, на протяжении последних 160 лет средняя годовая температура на поверхности Земли выросла, примерно на $0,8^{\circ}\text{C}$.

Начало 90-х годов XX-го века считается как «контрольной точки» для выявления феномена глобального потепления. На основе наблюдений, проводимых на метеостанции Кишинэу, было установлено, что на протяжении периода с 1887 по 1980 годы средняя годовая температура воздуха выросла в среднем, на каждые 10 лет, примерно на $0,05^{\circ}\text{C}$, и, пересчитывая на 100 лет, то оно составляет $0,5^{\circ}\text{C}$. (рис. 5–6).

Применяя ту же методологию для периода 1981–2010 было установлено, что на протяжении 10 лет средняя годовая температура повышалась примерно на

0,63°C, и пересчитывая на 100 лет, то оно составляет 6,3°C. В то же время резкое повышение среднегодовой температуры за период 1981–2010 гг. было обусловлено существенным повышением средней температуры воздуха весной, летом и осенью.

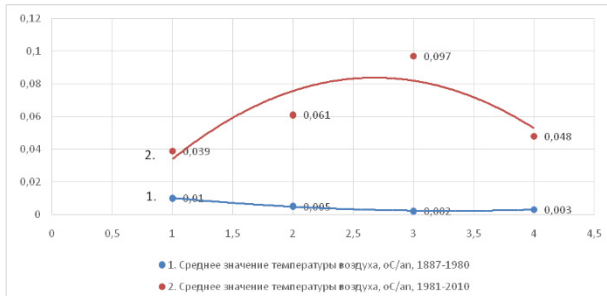


Рис. 5. Тенденция изменения температуры воздуха (°С / год) в течение двух отчетливых периодов инструментального наблюдения климатических данных на метеостанции Кишинева

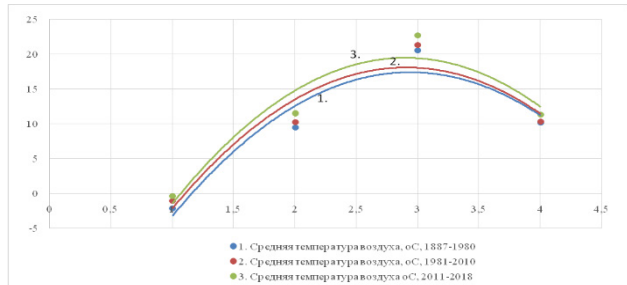


Рис. 6. Эволюция значений средней сезонной температуры (°С) для периодов 1887–1980, 1981–2010 и 2011–2018 гг. на метеостанции Кишинева

Исходя из метеорологических данных, констатируем тот факт, что тенденция изменения среднегодовой температуры воздуха на территории Республики Молдова в период 2004–2018 гг. повышается.

Таблица 3. Средняя температура воздуха (°С) по географическим районам за периоды 2002–2004, 2005–2009, 2010–2014 и 2015–2019 гг. Республика Молдова

	2002–2004	2005–2009	2010–2014	2015–2019
Север	9,0	9,22	9,2	10,09
Центр	10,31	11,09	10,84	11,56
Юг	10,86	11,48	11,27	12,34
Среднегодовая	10,05	10,6	10,43	11,33

Таблица 4. Средняя температура воздуха (°С) по сезонам за периоды 2002–2004, 2005–2009, 2010–2014 и 2015–2019 гг. Республика Молдова

	2002–2004	2005–2009	2010–2014	2015–2019
Зима	–1,6	–0,37	–2,1	0,18
Весна	10,47	10,43	11,0	11,6
Лето	21,02	21,5	21,86	22,24
Осень	10,32	10,85	10,98	11,32
Среднегодовая	10,05	10,6	10,43	11,33

Исходя из данных средних значений годовой температуры воздуха на территории Республики Молдова констатируем факт что в период 2002–2004 годы средняя температура воздуха составила 10,05°C, за 2005–2009 гг. – 10,6°C, а за 2010–2014 гг. – 10,43 °C и за 2015–2019 гг. – 11,33°C.

Анализируя эволюцию средних значений годовой и сезонной температуры (°C) за период 2002–2019 гг. на территории Республики Молдова, мы наблюдаем увеличение этих значений (таб. 3–4.; рис. 7–10).

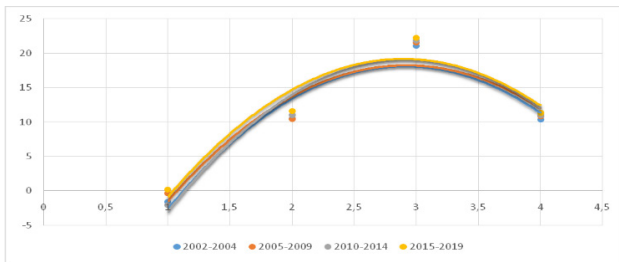


Рис. 7. Среднегодовая температура воздуха (°C) по сезонам в периоды 2002–2004, 2005–2009, 2010–2014 и 2015–2019 гг. Республика Молдова.

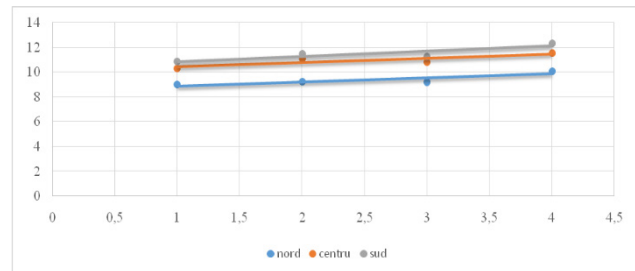


Рис. 8. Средняя температура воздуха (°C) в соотношении с географическими зонами в период за 2002–2004, 2005–2009, 2010–2014 и 2015–2019 гг. Республика Молдова.

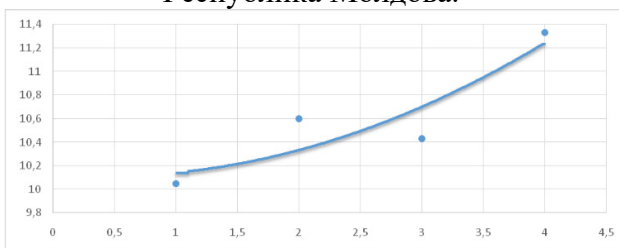
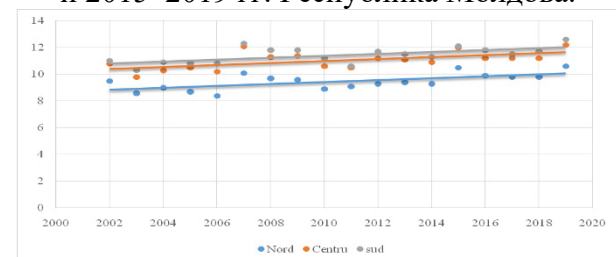


Рис. 9. Эволюция средней температуры воздуха (°C) в периоды 2002–2004, 2005–2009, 2010–2014 и 2015–2019 гг. Республика Молдова



Фиг. 10. Эволюция среднегодовой температуры (°C) в соотношении с географическими зонами Республики Молдова за период 2002–2019 гг.

Потепление климата увеличит частоту дней с экстремально высокими температурами, которые могут нанести прямой ущерб сельскохозяйственному сектору. Изменения климатических факторов окажут негативное влияние на качество и продуктивность сельскохозяйственных культур, и в случае непринятия мер предотвращения и адаптации, сельскохозяйственный сектор понесет колоссальный ущерб. Принимая во внимание функциональность

таксонов, используемых в технике скрещивания винограда, в соотношении с климатическими факторами, мы можем, получить разновидности рекомбинантов, которые позволят улучшить процесс селекции винограда, таким образом, обеспечивая межвидовым ризогенным генотипам возможность преодоления барьера изменение климатических факторов определенной географической зоны. Качество урожая и продуктивность генотипов винограда обеспечивается за счет активности комплекса биологических процессов. Обеспечение стабильных и качественных урожаев является основной задачей тех, кто вовлечены в процесс селекции, выращивания и переработки. В значительной степени успех тех, кто участвует в соответствующих процессах, зависит от активности процесса фотосинтеза генотипа, который координируется геномом.

Выводы

1. Кривая светового насыщения для фотосинтеза позволяет изучить экофизиологические свойства генотипа, тем самым, определяя продуктивность и устойчивость к факторам окружающей среде.

2. Межвидовые генотипы винограда (*V. Vinifera L.* × *M. Rotundifolia Michx.*) демонстрируют более высокий уровень продукционного процесса, чем внутривидовые генотипы.

Список литературы

1. Alexandrov E. Crearea hibridilor interspecifici de viță-de-vie (*V. vinifera L.* x *M. rotundifolia Michx.*) cu rezistență sporită față de factorii biotici și abiotici. Autoreferat al tezei de doctor habilitat. Chișinău, 2017. 45 p.
2. Irimia L.M. Biologia, ecologia și fiziologia viței-de-vie. Iași, Editura ”Ion Ionescu de la Brad”, 2012. 260 p.
3. Șișcanu Gh. Fotosinteza și funcționalitatea sistemului donator-acceptor la plantele pomicole. Chișinău: S.n., 2018. 316 p.
4. Амирджанов А. Г. Солнечная радиация и продуктивность винограда. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 280 с.
5. Ильницкий О. А., Плугатарь Ю. В., Корсакова С. П. Методология, приборная база и практика проведения фитомониторинга. Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. 236 с.

ВЛИЯНИЕ ГУСТОТЫ ПОСАДКИ И КРУПНОСТИ ЗУБКОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВА ЛУКОВИЦ НЕСТРЕЛКУЮЩЕГОСЯ ЧЕСНОКА

А. И. Килинчук, В. Ф. Ботнарь

Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений Республики Молдова

Изучение площади питания и пригодности для высадки различных фракций нестрелкующегося чеснока показали, что наиболее высокая урожайность луковиц получены при использовании для посадки крупной фракции зубков массой 7,0 г. Оптимальная площадь питания одного растения составляет 500 см², которая обеспечивается при высадке зубков в рядке на расстоянии 15 см.

THE EFFECT OF PLANTING DENSITY AND SIZE OF CLOVES ON THE YIELD AND QUALITY OF BULBS OF NON-FLICKERING GARLIC.

A. I. Kilinchuk, V. F. Botnar

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the Republic of Moldova

Meeting the needs of the population and the domestic market for locally produced garlic in the winter-spring period must be solved by introducing into the production varieties of non-flickering garlic, which are whiter resistant to diseases and have a longer storage period, almost until a new crop. Despite the long-standing, ubiquitous cultivation of garlic, a number of questions of biology, agricultural technology and seed production remain unclear, this statement especially applies to non-shooting forms. Non-shooting garlic is characterized by a denser onion with a spiral-shaped arrangement of cloves. Teeth of various shapes and sizes, unequal in weight, larger peripheral (5–7 g), Internal 3 or less grams. When they are used as planting material between plants, certain differences appear in growth, leaf formation, bulb formation, number of cloves, and crop size. Studies conducted in order to study the influence of the nutritional area and the suitability of various fractions of non-shooting forms of garlic as planting material showed that the growth and development rate of plants largely depends on the size of cloves and plant density. The mass of the clove of planting material has a significant impact on the growth, development and yield of non-shooting garlic. The highest yields and the formation of high-quality commercial bulbs were obtained when using for planting a large fraction of cloves weighing 7.0 g. With a decrease in the size of the clove, the yield and yield of marketable bulbs noticeably decreases. The most favorable conditions for the use of solar energy, root and air nutrition are created when planting cloves based on the nutritional area of one plant, about 500 cm², which is ensured by their planting in a row at a distance of 15 cm. Despite the widespread cultivation of garlic, in individual and home gardens, its shortage of market needs for these products are covered by imports. The need for locally produced garlic in the winter-spring period must be solved by introducing into the production varieties of non-flickering garlic, which are whiter resistant to diseases and have a longer storage period, almost until a new crop.

Введение

Несмотря на давнее, повсеместное выращивание чеснока, ряд вопросов биологии, агротехники и семеноводства остаются еще не выясненными, данное утверждение особенно относится к нестрелкующим его формам. Соблюдении рекомендации по выращиванию стрелкующего чеснока обеспечивает получение 10 и более тонн с гектара, однако луковицы такого чеснока не обладают длительным периодом хранения, из-за чего его используют, в основном, для осеннего и зимнего потребления, консервации и переработки пищевых продуктов. Обеспечение потребности в зимне-весенний период чесноком местного производства необходимо решить путем внедрения в производство сортов нестрелкующего чеснока, которые является более устойчивыми к болезням и обладают более длительным периодом хранения, практически до нового урожая (Botnari, Chilinciuc, 2019).

Нестрелкующийся чеснок характеризуется более плотной луковицей со спиралеобразным размещением зубков. Зубки разнообразной формы и величины, неодинаковы по весу, периферийные – крупные (3–7 г), внутренние 3 и менее граммов. При их использовании в качестве посадочного материала между растениями появляются определённые различия в росте, листообразовании, формировании луковиц, количеству зубков, величине урожая. Следовательно, изучение потенциала продуктивности разных по крупности зубков, в зависимости от расположении их в луковице, (периферийные или внутренние), имеет большое практическое значение и будет способствовать большему интересу, фермеров и овощеводов любителей к выращиванию нестрелкующего чеснока

Площади, занятые нестрелкующим чесноком, незначительны, производственных посадок нет, его возделывают, в основном, на приусадебных участках, для чего используются в основном местные формы. Отсутствие рекомендации по выращиванию посадочного материала, как и самого

нестрелкующегося чеснока, является одной из причин низких урожаев и его ограниченного распространения (Кишинчук, Ботнар, 2018). Следовательно, выведение новых сортов и усовершенствование агротехнических приемов семеноводства и выращивания нестрелкующегося чеснока является одним из резервов повышения его урожайности и качества.

Материалы и методы исследований

Полевые эксперименты проводили в 2014–2017 годы. Семенным материалом для проведения исследований явились зубки материнской луковицы сорта Молдобелла, выведенный нами путем селекции из местной популяции нестрелкующегося чеснока. Для сравнительного изучения морфобиологических особенностей посадочный материал был разделен на две фракции: крупные зубки массой 7,0 г, и мелкие – 4,0 г.

В исследование были взяты четыре типа густоты стояния растений: контроль – 408 тыс. шт./га (B_1); 285 тыс. шт./га (B_2); 190 тыс. шт./га (B_3) и 142 тыс. шт./га (B_4). Площадь питания одного растения в зависимости от густоты составляла соответственно на контрольном варианте – 245 см² (B_1); 350 см² (B_2); 525 см² (B_3) и 700 см² (B_4).

Опыты проводили на обыкновенном среднесуглинистом черноземе, отвечающем требованиям выращивания овощных культур с соблюдением общепринятых правил севооборота без применения орошения (Доспехов, 1979, Белик 1982)

Посадку проводили вручную в первой декаде октября на глубину 6–8 см, в лентах состоящих из двух строк (20 + 20 + 50 см) с расстоянием между зубками в ряду – 7 см; 10; 15 и 20 см., площадь учетной делянки составила – 2,80 м². Повторность опыта четырехкратная.

Результаты и их обсуждения

С агрономической точки зрения оптимальной, следует считать, такую площадь питания, при которой достигается не наибольшая производительность

отдельного растения, а получение максимального урожая с единицы площади (Синягин, 1972).

В виду отсутствия научно аргументированных рекомендаций обычно зубки чеснока сажают в однострочных рядках на расстояние 20–25 см. В наших исследованиях, для изучения был взят более широкий диапазон расположения зубков в рядке, с расстоянием 7 см; 10; 15 и 20 см, что обеспечило получение обширного фактологического материала о влиянии данного параметра на расход посадочного материала, росте и развитие растений, размера луковиц, урожайности и качество продукции. Необходимое количество посадочного материала в зависимости от числа посаженных зубков на единицу площади с использованием крупных и мелких фракций представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расход посадочного материала нестрелкующегося чеснока в зависимости от густоты посадки и крупности зубков

Вариант	Расстояние между зубками в ряду, см.	Количество посаженных зубков, тыс./га	Расход посадочного материала, кг/га при массе зубка	
			4,0 гр.	7,0 гр.
B ₁	7	408	1632	2856
B ₂	10	285	1140	1995
B ₃	15	190	760	1130
B ₄	20	142	568	994

Из приведенных данных следует, что расход посадочного материала на единицу площади при возделывании чеснока, во многом зависит от массы зубка и планируемой густоты посадки. Наибольший расход посадочного материала – 2856 кг/га, необходим при высадке – 408 тыс. шт./га, а наименьшее при – 142 тыс. шт./га, который составляет – 994 кг/га.

При использовании для посадки мелких зубков, массой – 4,0 г, наибольший расход – 1632 кг/га, отмечается при плотности – 408 тыс. шт./га, а самый низкий при – 142 тыс. шт./га, что составляет – 568 кг/га. С уменьшением массы зубка, его расход на единицу площади снижается

Влияние крупности зубка в качестве посадочного материала и густоты посадки на площадь листовой поверхности и размер образовавшихся луковок в зависимости от применяемой площади питания приведены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние площади питания и крупность посадочного материала на вегетативный рост растений и размер луковок

Вариант	Высота растений, см	Масса 1 растения, гр.	Надземная масса, гр.	Прибавка, гр.	Масса луковки, гр.	Прибавка, гр.
Масса зубка 7,0 г						
V ₁	79,5	50,30	21,55		28,74	
V ₂	79,1	55,85	23,60	2,05	33,22	3,48
V ₃	78,4	65,89	27,60	4,0	38,29	6,07
V ₄	79,9	65,0	27,65	0,05	37,35	-0,94
Масса зубка 4,0 г						
V ₁	78,7	45,53	20,38		25,15	
V ₂	77,1	50,59	22,38	2,0	28,24	3,09
V ₃	76,7	59,55	26,38	4,0	33,17	4,96
V ₄	77,7	60,93	26,61	0,23	34,32	1,15

Отмечено, что на участках, где для посадки были использованы зубки крупной фракции растения росли и развивались интенсивнее, чем из мелких. Различия в темпах роста и развития растений в конечном итоге отражались на накоплении надземной массы и размеры сформированных луковок. Представленные данные показывают, что величина зубка и густота посадки влияют на образование площади листовой поверхности растений и размер луковки. С увеличением плотности посадок условия для роста растений ухудшаются. При чрезмерном загущении посадок появляются признаки угнетения почвенного и воздушного питания. В результате конкуренции за светом растения вытягиваются, прирост вегетативной массы и крупность луковки уменьшается.

При сравнении влияния крупной и мелкой фракции посадочного материала, на продуктивность растений нестрелкующего чеснока, необходимо отметить, что более крупные луковки образуются из зубков с массой 7,0 гр. и выше.

Таблица 3. Влияние крупности зубков и густоты посадки нестрелкующегося чеснока на величину урожая и качества

Вариант	Общий урожай, кг/га	Структура урожая, кг/га					
		товарного			нетоварного		
		кол-во луковиц, тыс. шт.	кг	%	кол-во луковиц, тыс. шт.	кг	%
Вес зубка 7,0 г							
B ₁	11726	350	10130	86,4	58	1596	13,6
B ₂	9468	255	8795	92,9	30	672	7,1
B ₃	7275	176	6995	96,1	14	280	3,8
B ₄	5304	135	5159	97,3	7	144	2,7
Вес зубка 4,0 г							
B ₁	10261,2	311	8173,0	79,6	97	2088,1	2
B ₂	8048,4	244	7254,0	90,1	41	794,4	9,9
B ₃	6302,3	164	6785,5	91,8	26	516,8	8,2
B ₄	4873,4	133	4686,8	96,2	9	186,6	3,8

Зубки мелкой фракции, содержащие недостаточный запас пластических веществ, не всегда обеспечивают необходимый рост растений и формирование крупных луковиц, в связи с чем в качестве посадочного материала рекомендуется использование крупной фракции периферийных зубков. Из приведенных выше данных следует, что наибольший урожай независимо от крупности посаженных зубков сформировался на контрольном варианте, однако доля товарной части при этом была наименьшая и составила 86,4 и 79,6% соответственно крупности зубков 7 и 4 граммов. С увеличением площади питания одного растения доля стандартных луковиц возрастало.

Относительно крупные луковицы нестрелкующего чеснока формировались при площади питания одного растения 525 см² (B₃), дальнейшее увеличение площади питания одного растения до 700 см², при соответствующем уменьшением числа растений до 142 тыс. шт./га, не привели к существенному росту надземной массы и луковицы. На загущенных участках рост растений несколько угнетался, листовая поверхность и масса луковицы уменьшалась, хотя общий урожай на единицу площади при этом был выше, за счет увеличения количества растений. Результаты исследований влияния крупных и мелких

зубков в качестве посадочного материала на урожайность и товарные качества чеснока в зависимости от плотности посадки приведены в таблице 3.

Приведенные результаты исследований свидетельствуют, что качество урожая нестрелкующегося чеснока повышается с увеличением расстояния между растениями. Наивысший выход товарного урожая отмечен на участках, где площадь питания одного растения составила 700 см². При данной густоте значительно возрастает доля товарной части урожая (96,2%), и у мелкой фракции зубков. Однако за счет меньшего количества растений на единицу площади в итоге урожайность, невысокая. Следовательно, качество урожая – величина, обратная густоте растений и урожайности. Чем выше плотность растений, тем соответственно ниже качество луковиц и наоборот. Использование для высадки крупной фракции зубков, весом 7,0 гр. и размещение их в рядке на 15 см, обеспечивает высокую урожайность, и качество луковиц при возделывании нестрелкующегося чеснока.

Выводы

1. Крупность фракции посадочного материала оказывает существенное влияние на рост, развитие и урожайность нестрелкующегося чеснока. Наиболее высокая урожайность и формирования высококачественных луковиц получены при высадке крупной фракции зубков массой 7,0 гр. С уменьшением размера посадочных зубков заметно снижается урожайность и выход товарных луковиц.

2. Благоприятные условия для использования солнечной энергии, корневого и воздушного питания создаются при посадке зубков из расчёта площади питания одного растения около 525 см² которая обеспечивается их высадкой в рядке на расстоянии 15 см.

Список литературы

1. Белик В. Ф. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве. М.: Агропромиздат, 1992. 319 с.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. С.70.
3. Килинчук А. И., Ботнаръ В. Ф. Биологические особенности и посевные качества нестрелкующегося чеснока в зависимости от местоположения зубка в луковице // Овощи России, 2018 (4), с. 13–15. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-13-1>
4. Синягин И. И. Площади питания растений. М.: Россельхозиздат, 1972, 383 с.
5. Botnari V., Chilinciuc Al. Yield of non- shooting garlic, depending on the position of the cloves in the bulbs. Advanced biotechnologies – achievements and prospects: International Scientific Symposium, (Vth Ed), Chisinau, 2019. P. 141.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН
ОДНОДОЛЬНЫХ И ДВУДОЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ ЭКСТРАКТОМ
ЛИСТЬЕВ *R. RHAPONTICUM* L НА ВСХОЖЕСТЬ И
БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ**

А. А. Гладкая

Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений Республики Молдова

Резюме. Поскольку в настоящее время возрастает роль природных пестицидов, получаемых из растительного сырья, можно считать, что экстракт из листьев ревеня становятся перспективным и доступным источником биоактивных веществ для защиты и стимуляции развития растений. БАВ, такие как кверцетин (низкомолекулярный антиоксидант, субстрат пероксидазы, бактерицид), эмодин (бактерицид, фунгицид) и органические кислоты (инсектицид, антисептик, активатор) могут сыграть свою роль в подавлении вредных организмов в сельском хозяйстве. Количественный анализ показал, что общее количество флавоноидов в экстракте листьев составило 86,45 мг/100 г, фенолов – 588,8 мг/100 г. Обобщая результаты исследования надо отметить, что растительный экстракт листьев ревеня в концентрации 0,5% стимулировал всхожесть семян кукурузы на 11,7%, всхожесть сои – на 11,6%, увеличил размеры проростков кукурузы на 27,7% в мелкоделяночных опытах. Было установлено общее стимулирующее действие экстракта листьев на всхожесть и биометрические параметры проростков исследуемых культур, относящихся к различным ботаническим группам однодольных (кукуруза) и двудольных (соя) растений.

**DETERMINATION OF THE EFFECT OF PRESOWING TREATMENT OF
MONOCOTYLEDONOUS AND DICOTYLEDONOUS PLANT'S SEEDS
WITH *R. RHAPONTICUM* L LEAF EXTRACT ON GERMINATION AND
BIOMETRIC PARAMETERS OF SEEDLINGS**

A. Gladcaia

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau,
Republic of Moldova*

Summary. Since the role of natural pesticides obtained from plant materials is currently growing, it can be considered that the extract from rhubarb leaves is becoming a promising and affordable source of bioactive substances to protect and stimulate plant growth. Biologically active substances, such as quercetin, emodin and organic acids can play a role in the suppression of harmful organisms in agriculture. Quantitative analysis showed that the total amount of flavonoids in the leaf extract was 86,45 mg / 100 g, phenols – 588,8 mg / 100 g. Summarizing the results of the study, it should be noted that plant extract of rhubarb leaves at a concentration of 0,5% stimulated the germination of corn seeds by 11,7%, soybean germination by 11,6%, increased the size of corn seedlings by 27,7% in small-plot experiments. It was found that the general stimulating effect of the leaf extract on the germination and biometric parameters of the studied crops seedlings belonging to different botanical groups of monocotyledonous (corn) and dicotyledonous (soy) plants.

Поскольку в настоящее время возрастает роль природных пестицидов, биологически активные вещества листьев ревеня, такие как кверцетин (низкомолекулярный антиоксидант, субстрат пероксидазы, бактерицид) и эмодин (бактерицид, фунгицид) могут сыграть свою роль в защите растений. В регуляции покоя и индукции прорастания семян, важную роль играет негормональный регулятор роста – кверцетин, который входит в состав J3 – ингибиторного комплекса (Рогожин, Верхотуров, 1998). Известно, что экстракт листьев ревеня содержит более 3% органических кислот (инсектицид, антисептик, активатор), которые обладают ростостимулирующей активностью и стабильно активируют показатели всхожести семян (Правдивцев, 2003; Сорочкин, 2009; Верещагин, 2006).

Вторичные метаболиты растений, при низких концентрациях, помогают вызвать прорастание, нарушая покой семян, способствуют росту корней, за счет повышения доступности влаги и регулирования температуры, увеличивают минерализацию питательных веществ и улучшение их поглощения (Nickell, 1982). Эти соединения играют положительную роль в физиологических процессах, таких как прорастание семян, рост корней, накопления хлорофилла, фотосинтезе, транспирации. Вторичные метаболиты регулируют выработку гормонов растений, действующие стимулирующим образом (Gamalero, 2011).

Материалы и методы

Работы по исследованию растительного сырья *R. rhaponticum* L., представленные в данной работе, проведены в Институте Генетики, Физиологии и Защиты Растений Республики Молдова. Выбор метода выделения биоактивных веществ из листьев ревеня определялся, в первую очередь, свойствами выделяемых соединений. Химические свойства эмодина и кверцетина совпадают по растворимости в этаноле, а органические кислоты растворяются в воде (Ibrahim, 2016). Количественный анализ флавоноидов в экстракте листьев проведен с помощью спектрофотометра «HALO VIS 10».

В целях исследования стимулирующих свойств экстракта листьев ревеня, в качестве тест-объектов были использованы семена кукурузы сахарной (гибрид

«Porumbeni 280») и сои (сорт «Надежда»). Для анализа свойств экстракта листьев *R. rhaponticum* были проведены исследования по воздействию экстракта на всхожесть, энергию прорастания и биометрические параметры проростков в чашках Петри. Семена были обработаны экстрактом в различных концентрациях. Определяли энергию прорастания через 4 суток, всхожесть – через 9 суток. Измеряли размеры корешка и стебелька проростков. В качестве эталона использовали фунгицидный препарат Royal FLO 42 SL, в контроле – обработка семян водой.

Для продолжения исследования стимулирующего влияния предпосевной обработки экстрактами ревеня семян сои и кукурузы были проведены мелкоделяночные опыты. Применялась обработка семян экстрактом, посев семян в 3-кратной повторности с учетом рандомизации. Контрольные семена были обработаны водой. В качестве эталона был использован фунгицидный препарат Royal Flo. Продолжительность опыта 30 суток. По истечению этого срока были определены показатели всхожести и размеры растений. Данные были математически обработаны.

Результаты

В целях получения как можно большего спектра биоактивных веществ, мы использовали водно-этанольную экстракцию на водяной бане, с последующей мацерацией. Растворившиеся активные вещества отфильтровывали, экстрагировали и растворяли в 20%-ном водно-этанольном растворе. В составе полученного экстракта общее количество флавоноидов составило 86,45 мг/100 г, фенолов – 588,8 мг/100 г.

Влияние предпосевной обработки семян экстрактом листьев ревеня в концентрации 0,5% состояло в увеличении всхожести (сои на 39,6%, кукурузы на 13,3% выше контрольных значений), и размеры проростков сои (на 66,7% выше контрольных значений (табл. 1).

Таблица 1. Влияние экстракта листьев *Rheum rhaponticum* (L) на всхожесть семян и размеры проростков кукурузы сахарной и сои в лабораторных условиях

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Размеры корешка, см	Размеры стебелька, см
Соя сорта «Надежда»				
Контроль	38,3	48,3	1,7	0,4
Эталон	55	73,3	2,1	1,3
V1 – 0,5% L	63,3	80	1,6	1,2
V2 – 1% L	43,3	68,3	1,1	1,2
НСР _{0,05}	9,4	10,6	0,6	0,3
Кукуруза сахарная «Porumbeni 280»				
Контроль	80	86,7	9,1	6,1
Эталон	70	93,3	9,6	8,1
V1 – 0,5% L	86,7	100	10,3	7,4
V2 – 1% L	70	80	5,6	6,3
НСР _{0,05}	8,4	9,3	1,1	0,7

В результате было доказано общее стимулирующее действие экстракта листьев (0,5%) на всхожесть и биометрические параметры проростков исследуемых культур, относящихся к различным ботаническим группам (однодольные и двудольные).

Результаты мелкоделяночных опытов подтвердили наши предварительные лабораторные исследования и доказали фитостимулирующее действие экстракта листьев ревеня (V1). Биометрические показатели в этом варианте выше, чем в контроле (всхожесть кукурузы на 11,7%, всхожесть сои – на 11,6%). Экстракт, также, увеличил размеры проростков кукурузы на 27,7%, в то время как размеры проростков сои были сопоставимы с эталонными значениями (табл. 2).

Таблица 2. Влияние предпосевной обработки семян кукурузы сахарной и сои экстрактом из листьев *Rheum rhaponticum* (L) на показатели всхожести семян и размеры проростков на мелких делянках

Вариант	Всхожесть, %	Размер стебелька, см
Соя сорта «Надежда»		
контроль	21,7	18,1
эталон Royal Flo	31,7	18,4
V1 - 0,5% L	33,3	18,2
НСР _{0,05}	6,9	1,3
Кукуруза сахарная «Porumbeni 280»		
контроль	60,0	32,6
эталон Royal Flo	71,7	41,7
V1 – 0,5% L	71,7	45,1
НСР _{0,05}	7,0	2,2

Из полученных данных, можно сделать вывод, что экстракт листьев ревеня можно считать перспективным и доступным источником биоактивных веществ, таких как кверцетин (низкомолекулярный антиоксидант, субстрат пероксидазы, бактерицид) и эмодин (активатор, бактерицид, фунгицид). В экстракте листьев *R. rhaponticum* содержится, также, до 1% щавелевой кислоты (антисептик, активатор). Экстракты листьев ревеня предлагают лучшую альтернативу для синтетических регуляторов роста растений, благодаря экономичности, экологичности, простоте использования, эффективности и безопасности.

Вывод

Было установлено общее стимулирующее действие экстракта листьев в концентрации 0,5% на всхожесть и биометрические параметры проростков исследуемых культур, относящихся к различным ботаническим группам однодольных (кукуруза) и двудольных (соя) растений.

Библиография

1. Рогожин В. В., Верхотуров В. В. Влияние антиоксидантов (дигоксина, кверцетина и аскорбиновой кислоты) на каталитические свойства пероксидазы хрена. В: Биохимия, 1998, т. 63, № 6, с. 63–68. ISSN 1608-3040.
2. Правдивцев В. А. Модификатор (стимулятор) для обработки растений и способ его использования. Патент РФ № 2201079, дата публикации 27.03.2003. (просмотрено 03.08.2017)
3. Сорочкин И. Н. и другие. Регулятор роста растений., Патент РФ № 2355169. дата публикации 20.05.2009. (просмотрено 03.08.2019)
4. Верещагин Ф. Л. и другие. Способ стимулирования растений. Патент РФ № 2267924. ЗАО СХП «Озерское», дата публикации 20.01.2006. (просмотрено 03.08.2019)
5. Nickell L. G.: Plant Growth Regulators. Agricultural Uses. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York, Journal of plant nutrition and soil science, Volume 146, Issue 1, 1982, P. 128
6. Gamalero E., Glick B. R., Mechanisms used by plant growth-promoting bacteria, in Bacteria in Agrobiological: Plant Nutrient Management, 2011, p. 17–46
7. Ibrahim E.A., Doha H.A., Baker F.K. Anti-Inflammatory and antioxidant activities of rhubarb roots extract. In: International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research. 2016, vol. 39, nr 2, pp. 93–99. ISSN 0976-044X.

СОЗДАНИЕ НОВЫХ СОРТОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННОГО ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА

Н. В. Давыдова*, А. О. Казаченко*, А. В. Широколава*, А. М. Резепкин*,
В. А. Нардид*, А. В. Грачева*, Е. С. Романова*, Ю. В. Чесноков**,
Г. В. Мирская**

*ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»;

**ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

В статье представлены результаты вовлечения в селекционный процесс при создании новых сортов яровой пшеницы в ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» в качестве исходного материала форм с озимым типом развития, дигаллоидных сортов и линий, созданных на базе сортов собственной селекции с высоким адаптивным потенциалом, а также инбредных линий популяции гексаплоидной пшеницы ITMI, созданных в Агрофизическом научно-исследовательском институте (г. Санкт-Петербург) и прошедших 3-х летнюю оценку в условиях Московской области.

DEVELOPMENT OF THE NEW SPRING SOFT WHEAT VARIETIES WITH THE HELP OF USING UNCONVENTIONAL SOURCE MATERIAL

N. V. Davydova*, A. O. Kazachenko*, A. V. Shirokolava*, A. M. Ryezepkin*,
V. A. Nardid*, A. V. Gracheva*, E. S. Romanova*, Yu. V. Chesnokov**,
G. V. Mirskaya**

*FSBSI Federal Research Center Nemchinovka;

**Federal State Budgetary Scientific Institution «Agrophysical Research Institute»

This article presents the results of winter-type forms, dihaploid varieties and lines of wheat implementation as source material into the development of spring wheat varieties in Nemchinovka Federal Research Center. The varieties used were based on the Nemchinovka own varieties with high adaptive potential, as well as inbred hexaploid wheat lines ITMI, created in «Agrophysical Research Institute» (city of Sankt-Peterburg), which passed a 3-year assessment in the Moscow Region.

Key words: spring wheat, variety, source material, winter-winter forms, digaploids, inbred lines.

При создании современных сортов яровой пшеницы, отвечающих требованиям современного производства, все острее ощущается недостаток исходного материала. Эта проблема всегда являлась приоритетной в селекции практически всех сельскохозяйственных растений, включая яровую и озимую пшеницу. Дефицит источников ценных признаков касается, прежде всего,

устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам, а также стабильности уровня урожайности и качественных показателей.

При создании новых сортов яровой мягкой пшеницы в ФИЦ «Немчиновка» в качестве одного из родительских компонентов широко используются озимые формы, обладающие в сравнении с яровыми, большим потенциалом урожайности в силу их биологической особенности. А также дигаплоидные сорта и линии, созданные на базе сортов собственной селекции, как наиболее приспособленных к конкретным почвенно-климатическим условиям. В скрещивания вовлекаются линии гексаплоидной пшеницы, полученные в Агрофизическом научно-исследовательском институте, г. Санкт-Петербург, прошедшие экспресс-оценку изоферментного профиля эстераз зрелых семян, позволяющую выделить наиболее перспективные формы по лимитирующим селекционным признакам и использовать их в селекционном процессе (Рудаков, 2016).

Материал и методы исследований

В качестве исходных форм использовали яровые сорта собственной селекции с широким адаптивным потенциалом: Эстер, Лада, Амир, Любава, Лиза, Злата, Агата.

Озимые сорта, включенные в процесс гибридизации, представлены 246 формами, с их участием за этот период создано 21,8% гибридов. В исследованиях использовали как озимые сорта, созданные в ФИЦ «Немчиновка», так и сорта краснодарской селекции (Краснодарский НИИСХ). Также в скрещивания были вовлечены озимые сортообразцы, полученные из Centre for Agricultural Research (Венгрия, г. Мартонвашар).

Диплоидизированные гаплоидные линии созданы в ФИЦ «Немчиновка» методом гаплоидизации *in vitro* с использованием в качестве гаплопродюсера *Z. mays*.

В скрещивания также были вовлечены линии популяции ITMI, полученные от скрещивания яровой пшеницы сорта Opal 85 с синтетическим гексаплоидом W 7984, созданным посредством скрещивания *Aegilops tauschii* образец SIGM 86.940 и тетраплоидной пшеницы Aitar 84 (Чесноков, 2012).

Исследования проводили в лаборатории селекции и первичного семеноводства яровой пшеницы ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка». Фенологические наблюдения, учеты и анализы проводили в соответствии с Международным классификатором рода *Triticum* L. и согласно Методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989).

Для гибридизации применяли метод принудительного опыления в поле на участке гибридизации, а также метод свободно-принудительного опыления при посеве материнских форм в массиве размножения сорта, используемого в качестве отцовского компонента.

Оценку гибридных комбинаций, полученных от скрещивания яровых форм с озимыми, проводили по методике, предложенной Э. Д. Неттевичем и адаптированной к современным условиям (Давыдова, 2016). Искусственную яровизацию озимых форм проводили в холодильных камерах при температуре 0...+1°C в течение 40–60 дней.

Полевые опыты размещали в селекционном севообороте и на участке гибридизации. Схема селекционного процесса общепринятая для самоопыляющихся культур. Конкурсное испытание проводили на делянках площадью 12 м², в четырехкратной повторности. Для фитопатологической оценки устойчивости к листовым болезням применяли методику Э. Э. Гешеле (1978).

Результаты исследований

Подбор родительских пар – одна из наиболее трудоемких задач для селекционера. Селекционером планируются скрещивания, позволяющие в одном генотипе сочетать хозяйственно-ценные признаки родительских форм,

однако это далеко не всегда возможно, поэтому требуется большое разнообразие исходного материала. В наших исследованиях применяли исходный материал, отличный от традиционного, наиболее часто используемого в «классической» селекции яровой пшеницы. В таблице 1 приведены результаты использования такого исходного материала.

Таблица 1. Использование различного исходного материала в селекции яровой мягкой пшеницы в ФИЦ «Немчиновка»

Исходный материал	Проведено скрещиваний, 2015–2020 гг.	Число линий в селекционных питомниках	Созданные сорта
Озимые формы	98	116	Лада, Эстер, Любава, Немчиновская 1. В 2021 году л. 460/2 будет передана на Государственное сортоиспытание
Дигаплоидные линии	33	41	Лиза, ТИМА
Линии популяции ITMI	17	14	В 2021 году л. 2/17 будет передана на Государственное сортоиспытание
Всего:	148	171	7

Озимая пшеница имеет ряд преимуществ перед яровой, в частности обладают большим потенциалом урожайности в силу ее биологических особенностей (за счет высокой озерненности колоса, массы 1000 зерен и, как следствие, более высокой продуктивности колоса. Особенностью скрещиваний типа «яровая × озимая» является значительный формообразовательный процесс с широким спектром проявления основных лимитирующих признаков.

Наибольший интерес представляют сорта с высокой сортообразующей способностью, в первую очередь это Московская 39 и Московская 56 с потенциалом урожайности на уровне 14 т га⁻¹. С их участием за последние пять лет создано более 50 гибридных комбинаций. По результатам конкурсного сортоиспытания 2017–2019 гг. выделились две перспективные линии л. 456/3 и л. 460/2, отобранные из ярово-озимой гибридной комбинации от скрещивания ярового сорта Злата и озимого Московская 56 (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика лучших линий конкурсного сортоиспытания, 2017–2019 гг.

Сорт, линия	Урожайность, т га ⁻¹				Содержание клейковины, %				Устойчивость к болезням, % поражения (max.)		
	2017	2018	2019	средняя	2017	2018	2019	средняя	бурая ржавчина	муч. роса	септориоз
Злата (стандарт)	8,46	4,03	4,84	5,78	30,9	36,9	36,8	34,9	10	10	35
Л. 456/3-15Н2788 (Злата × Московская 56)	8,21	4,60	4,80	5,87	25,3	28,7	33,8	29,3	5	0–5	15
Л. 460/2-15Н2788 (Злата × Московская 56)	8,72	4,55	4,62	5,96	27,5	29,6	35,2	30,8	5	10	20

При создании ярово-озимых форм возникает проблема сдвига большинства гибридов в сторону позднеспелости, что нежелательно для условий Центрального региона России. Отобранные линии относятся к среднеранним и созревают лишь на 2–3 дня позже скороспелого стандартного сорта Злата. В 2021 году планируется передать Л. 460/2 на Государственное сортоиспытание. Практически во всех сортах яровой пшеницы, созданных в ФИЦ «Немчиновка», в той или иной мере присутствует озимый компонент. Сорт Приокская, вошедшая в родословную большинства сортов селекции института (Неттевич, 1996), был получен при участии Московской 35, первого сорта, полученного при участии озимого компонента Безостая 1.

В качестве исходных родительских форм в селекционный процесс были вовлечены лучшие инбредные линии популяции гексаплоидной пшеницы ITMI, полученные в Агрофизическом научно-исследовательском институте (г. Санкт-Петербург) и прошедшие 3-х летнюю оценку в условиях Московской области.

Таблица 3. Лучшие линии яровой пшеницы, полученные с использованием линий картирующей популяции ITMI (Orata 85 × синтетический гексаплоид W7984)

Сорт, линия	Урожайность, т га ⁻¹				Дата колошения	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %
	2018 г.	2019 г.	сред. за 2 года	+ к стандарту			
Злата (стандарт)	3,24	4,77	4,00	–	12.06	15,4	35,4
АФИ-F ₁ -1/17 (Агата × ITMI-29)	3,26	5,22	4,24	+0,24	14.06	17,9	39,1
АФИ-F₁-2/17 (Агата × ITMI-47)	3,77	5,58	4,68	+0,68	14.06	17,4	38,0
АФИ-F ₁ -7/17 (Лиза × ITMI-10)	3,14	4,96	4,05	+0,05	12.06	18,2	39,1
НСР ₀₅					0,15		

ITMI 29 – карликовая, высота растений 48–50 см, колосковая чешуя белая зерно стекловидное, удлинённое, масса 1000 зерен 37–38 г;

ITMI 47 – низкорослая, высота 78–80 см, колосковая чешуя серо-дымчатая, зерно удлинённое, стекловидное, масса 1000 зерен 42–45 г;

ITMI 10 – карликовая, высота растений 46–48 см, колосковая чешуя белая, зерно стекловидное, удлинённо-овальной формы, масса 1000 зерен 35–38 г; Баталова, 2016).

С использованием инбредных линии популяции ITMI создано 17 гибридных комбинаций на базе лучших сортов яровой пшеницы селекции ФИЦ «Немчиновка». Исследования, проводимые в рамках проекта, направлены на изучение генетических и хозяйственно-ценных особенностей используемого материала и ускоренного создания на его основе современных сортов с показателями продуктивности и качества, соответствующими мировому уровню. Отобранный сотрудниками на базе АФИ гибридный материал был передан в ФИЦ «Немчиновка» и размножен в 2018–2019 гг. в полевых условиях, табл. 3.

Лучшие формы высеяны в 2020 году в питомнике конкурсного сортоиспытания, а по линиям 1/17, 2/17 и 7/17 начато экологическое

сортоиспытание. Планируется передача линии 2/17 на Государственное сортоиспытание с 2021 года.

Гаплоидия в настоящее время все более привлекает внимание генетиков и селекционеров. Это объясняется тем, что в гаплоидных тканях растений можно уловить полезные и устранить летальные и понижающие жизнеспособность рецессивные соматические мутации. Таким образом, у селекционера появляется возможность сокращения продолжительности генетического анализа и более точного определения селекционной ценности гибридных комбинаций, при этом сокращается время создания новых сортов.

Оценка созданных в ФИЦ «Немчиновка» ДГ-линий с применением показателя Пусс (%) позволяет провести точное дифференцирование семей и выделить адаптивные к конкретным почвенно-климатическим условиям линий (Давыдова, 2012, 2018).

Практическим результатом проведенной работы является создание на базе гибридной комбинации (Виза × Амир) нового конкурентоспособного сорта яровой мягкой пшеницы Лиза (Бурлуцкий, 2012) и перспективных новых линий яровой мягкой пшеницы, вовлеченных в селекционный процесс, как в ФИЦ «Немчиновка», так и в других научно-исследовательских учреждениях России.

Сорт Лиза (л. 271) проходит в настоящее время Государственное сортоиспытание. На него получен Патент № 7369 от 05.06.2014 года. Разновидность лютесценс. Сорт среднеспелый, с потенциалом урожайности более $7,5 \text{ т га}^{-1}$, имеет укороченную соломину (53–75 см). Устойчивый к полеганию. Сравнительно устойчив к поражается мучнистой росой и септориозом. Устойчив к осыпанию и прорастанию зерна в колосе. Обладает стабильно высоким качеством зерна на уровне сильной пшеницы. Рекомендуется для возделывания во 2, 3 и 7 регионах.

С 2020 года на Государственное сортоиспытание передан новый сорт яровой мягкой пшеницы ТИМА, созданный с использованием дигаплоидной

линии 89-04ДГ2Н2188, полученной на базе сортов Прохоровка, МИС и Амир. Сорт отличается хорошим адаптивным потенциалом, способен формировать высокий уровень урожайности в различных почвенно-климатических условиях (3, 5 и 7 регионы) за счет устойчивости к стрессовым факторам внешней среды: наиболее вредоносным листовым болезням, к весенней засухе, устойчив к прорастанию зерна в колосе. По качественным показателям соответствует требованиям к ценной и сильной пшенице, отличается от других сортов стабильно высоким объемным выходом хлеба отличного качества, а также высокой натурой зерна. Сорт среднеспелый.

В настоящее время продолжают работы по усовершенствованию и адаптивному методик использования нового исходного материала в конкретных условиях применения, в том числе в условиях искусственного климата и поиска новых источников ценных признаков.

Заключение

В результате использования нетрадиционного для классической селекции исходного материала получены новые сорта яровой мягкой пшеницы с комплексом хозяйственно ценных признаков. Использование такого исходного материала позволяет расширить формообразовательный процесс в гибридных комбинациях. Это представляет большую возможность отбора форм, сочетающих высокий уровень урожайности с хорошими качественными показателями, а также устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам и создания на их основе новых сортов яровой мягкой пшеницы.

Список литературы

1. Баталова Г. А. Оценка линий ИТМІ и картирование QTL у яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях Северо-Востока российской Федерации / Г. А. Баталова, И. И. Русакова, Н. В. Кочерина, У. Ловассер, А. Бернер, Ю. В. Чесноков. Киров, 2016. 51 с.
2. Бурлуцкий В. А. Оптимизация биотехнологии массового производства дигаллоидизированного материала *in vitro* яровой мягкой пшеницы в системе гаплопродюсера *Zea mays* L. / Бурлуцкий В. А. // «Аграрная Россия» научно-производственный журнал. 2012. № 1. С. 35–40.

3. Гешеле Э. Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений / Э. Э. Гешеле. М.: Колос, 1978. 205 с.
4. Давыдова Н. В. Характеристика диплоидизированных гаплоидов яровой мягкой пшеницы по комплексу хозяйственно-ценных признаков / Н. В. Давыдова, В. А. Бурлуцкий // Плодоводство и ягодоводство России. Том XXXIV. Часть 1. 2012. С. 220–226.
5. Давыдова Н. В. Особенности использования озимых форм в селекции яровой мягкой пшеницы / Н. В. Давыдова, А. О. Казаченко, Т. П. Малкина, Е. Е. Шарошкина // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 12.
6. Давыдова Н. В., Казаченко А. О., Бурлуцкий В. А. Создание исходного материала методами биомоделирования для ускоренного выведения новых коммерческих сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Сборник тезисов XVIII Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной памяти академика РАСХН Георгия Сергеевича Муромцева. ФГБНУ ВНИИСБ, 2018. С. 11–13.
7. Неттевич Э. Д. Характеристика ярово-озимых форм, используемых в селекции яровой мягкой пшеницы / Э. Д. Неттевич, Н. В. Давыдова, А. А. Шарахов, А. М. Беспалов // В сб.: Принципы и методы селекции и семеноводства зерновых и зернобобовых культур в Нечерноземье. М., 1996. С. 251–258.
8. Рудакова А. С. Изоферментный анализ эстераз зрелых семян гексаплоидной мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / А. С. Рудакова, С. В. Рудаков, Н. В. Давыдова, Г. В. Мирская, Е. В. Журавлева, Ю. В. Чесноков // Сельскохозяйственная биология. 2016. В. 51. № 3. С. 327–334.
9. Чесноков Ю. В. Картирование QTL, определяющих проявление агрономических и хозяйственно ценных признаков у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в различных экологических регионах России / Ю. В. Чесноков, Н. В. Почепня, Л. В. Козленко, М. Н. Ситников, О. П. Митрофанова, В. В. Сюков, Д. В. Кочетков, У. Ловассер, А. Бернер // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 4/2. С. 970–986.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ РАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ

Е. А. Дунаева¹, В. Ф. Попович¹, В. В. Терлеев²

¹ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В работе рассмотрены информационные аспекты исследования резервов повышения эффективности использования водных ресурсов сельскохозяйственными культурами в богарных условиях степной части Крыма на примере сравнения традиционной (классической) технологии и технологии прямого посева (no-till).

INFORMATION ASPECTS OF CROP MONITORING WITH DIFFERENT CULTIVATION TECHNOLOGIES

Ie. A. Dunaiev¹, V. F. Popovych¹, V. V. Terleev²

¹FSBSI «Research Institute of Agriculture of Crimea»;

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

The paper discusses the informational approaches of crops monitoring under different growing technologies. It is indicated that the dynamics of changes in moisture reserves in rainfed conditions for analyzing the efficiency of precipitation usage with traditional and no-till technologies can be determined: using the water balance method and AgroTool, WOFOST, SWAP, SWAT agro-hydrological models applying and / or remote sensing data; by the analysis of the level of crops bio-productivity on the NDVI values, obtained from different sources - VEGA-Science (MODIS), OneSoil (Sentinel) in comparison with coupled observed field data (Trimble GreenSeeker Handheld); on the base of the volume of productive soil moisture changing, based on the instrumental methods of soil moisture measuring, - or using a composition of these methods. The possibilities of the Onesoil service are shown for the purpose of studying the reserves of increasing of the efficiency of water resources usage by crops in rainfed conditions of the Steppe zone of Crimea. The field contours in the *.KML format were put into the Onesoil system which used no-till or traditional farming technology. The dynamics of the crops state was monitored from 2018 to the present. It is indicated that the EOS Crop Monitoring service is similar in functionality, however, only one object (up to 300 hectares) can be analyzed as part of a free subscription. Additional capabilities of the Vega-Science service are noted, which allows to obtain NDVI data on a field level and at a point too, provide vegetation indices analysis and their deviations from mean long-term values, to combine index data with meteorological information, and more. Examples of differences in the level of sunflower evapotranspiration for the analyzed period, grown by traditional and no-till technology, reaching 23 mm, which is much higher than the error in measuring soil moisture by the balance method, as well as comparative results of evapotranspiration modeling for these technologies (WOFOST) are given. An analysis of the spatial resolution of the open access precipitation (GPM) and evapotranspiration (ETa, ECOSTRESS and FEWS NET) data is presented, and it is concluded that for the Steppe zone of Crimea, despite significant progress in the ETa measurement technology and better spatial resolution and availability of precipitation data, today it is practically impossible to analyze water balance on field level without ground observations.

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the scientific project No. 19-016-00148 A.

Для оценки уровня водопотребления сельскохозяйственных культур и мониторинга состояния вегетации в реальном времени существует широкий ряд информационных ресурсов и систем, рассмотренных ранее в публикациях [1, 2].

Цель работы: изучение информационных ресурсов для оценки динамики использования водных ресурсов сельскохозяйственными культурами в богарных условиях степной части Крыма на примере сравнения традиционной (классической) технологии и технологии прямого посева (no-till).

Динамику изменения запасов влаги в богарных условиях для анализа эффективности использования осадков при традиционной и no-till технологиях можно определить: с использованием метода водного баланса с применением агрогидрологических моделей AgroTool, WOFOST, SWAP, SWAT и/или данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ); по уровню биопродуктивности посевов проводя анализ хода значений NDVI, полученных по данным различных источников – ВЕГА-Science (MODIS), OneSoil (Sentinel) в сравнении с данными сопряженных наземных наблюдений (Trimble GreenSeeker Handheld); по изменению продуктивных влагозапасов в почве на основе инструментальных методов измерения влажности почвы, – или используя комплекс указанных методов.

Одним из наиболее открытых для конечного потребителя сервисов, обладающих интуитивно понятной структурой, является информационная система OneSoil [3], которая позволяет получить информацию о состоянии растительности на полях, и имеет как пользовательский интерфейс для ПК, так и интерфейс для мобильных устройств. Доступ из аккаунта Google с мобильного устройства позволяет получать информацию об обновлении вегетации непосредственно в приложении и видеть изменения динамики состояния посевов на конкретном поле. Для целей исследования резервов повышения эффективности использования водных ресурсов сельскохозяйственными

культурами в богарных условиях степной части Крыма в систему Onesoil были занесены контуры полей в формате *.kml по технологии no-till и традиционной технологии земледелия. Отслеживалась динамика состояния посевов начиная с 2018 г. по настоящее время. Похожим по функционалу является сервис EOS Crop Monitoring [4], однако в рамках бесплатной подписки доступен анализ только одного объекта (площадью до 300 га).

В отличие от OneSoil, сервис Vega-Science [5] позволяет получать данные NDVI по полю и в точке, проводить анализ вегетационных индексов и их отклонения от средних многолетних значений, совмещать данные индексов с метеорологической информацией и другое.

Оценка динамики влагозапасов на полях с возделыванием сельскохозяйственных культур по традиционной и no-till технологии позволяет оценить использование растениями водных ресурсов. На рисунке 1 приведен пример анализа результатов измерения почвенных влагозапасов термостановым методом на рядом расположенных полях подсолнечника, выращиваемых по различным технологиям. Сумма осадков за сравниваемый отрезок времени 3.8 мм. Расхождения в уровне суммарного испарения в этом примере для данного периода времени и сравниваемых технологий 23 мм, что существенно выше ошибки измерения влагозапасов балансовым методом.

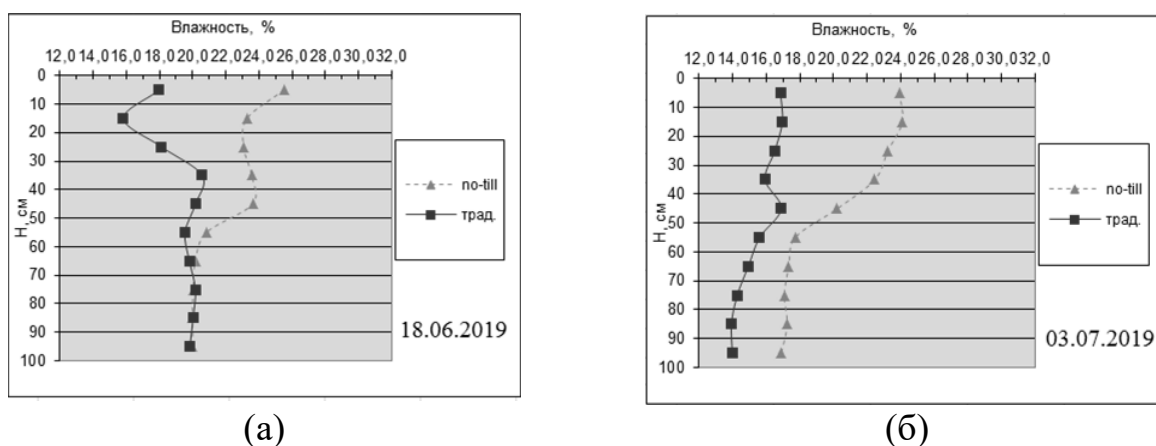


Рис. 1. Пример динамики влагозапасов на пилот-участках подсолнечника с нулевой и традиционной технологией

Одним из важных параметров, который позволяет сделать вывод об эффективности использования водных ресурсов при различных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур является эвапотранспирация. Ввиду отсутствия на сегодняшний день в Крыму инструментария для непосредственного измерения в полевых условиях суммарного испарения (ЕТа) для определения расходной части водного баланса используются косвенные или расчетные методы. Использование математического моделирования позволяет на основе имеющихся метеорологических данных получить расчетные данные ЕТа. Пример результата моделирования (модель WOFOST) величины эвапотранспирации на поле подсолнечника (метеостанция Евпатория) представлен на рис. 2.

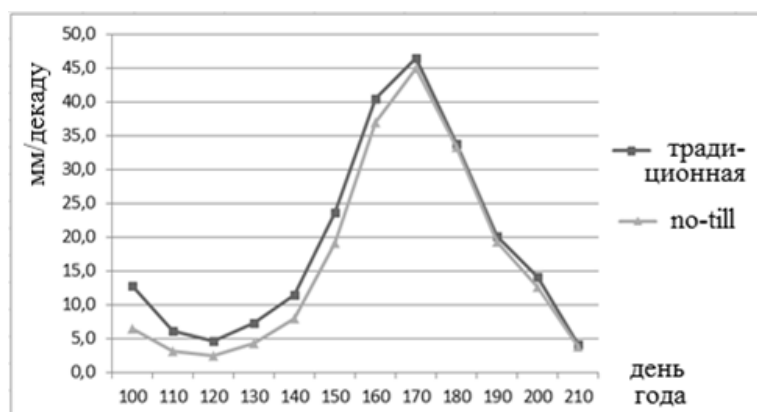


Рис. 2. Результаты моделирования (модель WOFOST) величины эвапотранспирации на поле подсолнечника (метеост. Евпатория)

Источником данных суммарного испарения могут служить данные дистанционного зондирования Земли, доступные с различным пространственным разрешением, однако для территории Крыма в открытом доступе находятся данные с размером пикселя 500×500 м (FEWS NET [6]). При этом пространственное разрешение данных об осадках, полученных с использованием открытых / бесплатных источников информации (например, проект миссии глобального измерения осадков, GPM [7]) имеют разрешение около 5 км, что, несмотря на высокое временное разрешение (от получаса до 3-х

часов) приводит к необходимости установки недорогих приборов по возможности на каждом или на группе соседних полей (см. рис. 3).



Рис. 3. Пример расположения осадкомера в полевых условиях на посеве озимой пшеницы (Джанкойский район фермерское хозяйство)

Оценка уровня влагозапасов и использование данных о суммарном испарении по данным ДЗЗ для территории степной зоны Крыма показывает очень сильные отклонения и достаточно большие ошибки по сравнению с данными наземных измерений. В первую очередь это определяется пространственным разрешением спутниковых данных для данной территории, например, размер пикселя открытых / бесплатных данных о влагозапасах в верхнем 10-ти сантиметровом и метровом слое почвы около 12.5 км, а данные высокого разрешения (70 м для данных о суммарном испарении проекта ECOSTRESS [8]) для данной территории не доступны. Получается, что из имеющихся в открытом доступе для Крыма данных, сельскохозяйственные производители для мониторинга состояния растительности на уровне поля чаще всего используют такие открытые данные как NDVI, поэтому остро стоит задача комплексирования наземных наблюдений с отработкой методологии получения недорогой и качественной (адекватной) спутниковой информации для оценки водного баланса на уровне полей и полевых участков.

Вывод. Несмотря на существенный прогресс в технологии измерения ET_a и большей пространственной доступности об осадках, обойтись без наземных наблюдений на уровне поля на сегодняшний день практически невозможно.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта 19-016-00148 А.*

Список литературы

1. Дунаева Е. А. Возможности сравнения различных технологий возделывания сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования Земли / В сборнике: Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. Материалы VI Международной научной конференции. Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий. 2019. С. 232–235.
2. Dunaieva, I., W. Mirschel, V. Popovych, V. Pashtetsky, E. Golovastova, V. Veчерkov, A. Melnichuk, et al. GIS Services for Agriculture Monitoring and Forecasting: Development Concept. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 983. doi: 10.1007/978-3-030-19868-8_24.
3. Официальный сайт Бесплатной платформы для точного земледелия. URL: <https://onesoil.ai/ru/> (дата обращения 18.07.2020)
4. Официальный сайт EOS Crop Monitoring. URL: <https://eos.com/> (дата обращения 18.07.2020).
5. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды / Е. А. Лупян, А. А. Прошин, М. А. Бурцев [и др.] // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12, № 5. С. 263–284.
6. Funk, C.C., Peterson, P.J., Landsfeld, M.F., Pedreros, D.H., Verdin, J.P., Rowland, J.D., Romero, B.E., Husak, G.J., Michaelsen, J.C., and Verdin, A.P., 2014, A quasi-global precipitation time series for drought monitoring: U.S. Geological Survey Data Series 832, 4 p., <https://dx.doi.org/10.3133/ds832>.
7. Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., Oki, R., Nakamura, K., and Iguchi, T.: The Global Precipitation Measurement mission, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 95, 701–722, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>, 2014.
8. Fisher, J. B., Lee, B., Purdy, A. J., Halverson, G. H., Dohlen, M. B., Cawse-Nicholson K. et al. (2020). ECOSTRESS: NASA's Next Generation Mission to Measure Evapotranspiration From the International Space Station, *Water Resources Research*, 56(4), 1–20, 2020. <https://doi.org/10.1029/2019WR026058>.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДОВ УСКОРЕННОЙ ОЦЕНКИ
МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТИ ГЕНОТИПОВ ПШЕНИЦЫ
(*TRITICUM AESTIVUM* L.) ДЛЯ ИХ РАЦИОНАЛЬНОГО ОТБОРА ПРИ
ПОСЕВЕ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ**

Н. Н. Желев, А. П. Даскалюк, Д. Д. Желев

Институт генетики, физиологии и защиты растений, Молдова

В статье приводятся результаты анализа влияния низких температур на прорастание семян, вызвавших *шок отрицательных температур (ШОТ)*, и на эффективность мобилизации запасных веществ из их эндосперма при образовании проростков с целью разработки метода для ускоренной оценки устойчивости генотипов озимой пшеницы к морозу.

**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR
ACCELERATED ASSESSMENT OF WINTER WHEAT
(*TRITICUM AESTIVUM* L.) GENOTYPES RESISTANCE TO FROST**

N. N. Jelev, A. P. Dascaluic, D. D. Jelev

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Moldova

We studied the features of the reaction of seeds of winter wheat varieties to the impact of a shock caused by *frost shock (FSh)*. Before germination, the seeds were immersed in water at a temperature of +4°C and then subjected to *FSh* by incubation in an air thermostat for 16 hours at different negative temperatures. Seeds germinated at a temperature of +25°C, relative air humidity of 70–80% for 120 hours. As a *boundary temperature* for *FSh*, called *FSh_b*, we considered the *FSh* that causes the decrease of seeds germination of a variety with an average resistance to frost decreased by 50%. Based on the impact of *FSh_b* on the seeds of various wheat varieties, its effect on the germination and growth of seedlings of the studied varieties was determined. We have shown that the more strongly the percentage of germination decreased after exposure to *FSh_b*, the lower the proportion of endosperm of seeds of this variety were used for germination and growth. Besides this, the distribution of the wheat varieties based on the rational use of the consumed part of the endosperm for germination and growth was the same in control and experimental variants. Thus, the seeds of varieties that sparingly use reserve substances for germination and growth retained this ability even after exposure to *FSh_b*. The numerical values of the differences between the «*economical*» and «*less economical*» varieties were higher in experiments with the effect of *FSh_b*, thanks to this, the mentioned method we recommend for a comparative assessment of frost resistance of different winter wheat genotypes.

Введение

В ходе эволюции растения выработали специфические механизмы первичной и индуцированной устойчивости для их выживания в зимних условиях. Эти механизмы включают анатомо-морфологические (Potters и др., 2009), физиологические, биохимические (Sanghera, 2011), генетические и эпигенетические (Mirouze, Paszkowski, 2014) компоненты адаптации. В комплексе, эти компоненты определяют выживание и продуктивность растений в различных условиях окружающей среды (Atkinson, Urwin, 2012). Эволюционный отбор основывается на гармонизации соотношения между ресурсами, выделяемыми для выживания материнского растения и получения потомства в реальных условиях (Jan et al., 2009). Выделение ресурсов на избыточную устойчивость или их недостаток может привести к гибели материнского растения, снижению численности потомства или к его отсутствию.

Таким образом, «стоимость устойчивости» является важным параметром, который необходимо учитывать при рекомендации генотипов растений для их культивирования в конкретных условиях (Purrington, 2000). Отсюда следует, что рациональный выбор генотипов растений для культивирования может быть сделан с учетом «стоимости устойчивости», продуктивности и рыночной стоимости урожая. Процесс прорастания семян, эффективность мобилизации их резервов для развития проростков на начальном этапе онтогенеза влияет на продуктивность озимой пшеницы. Доля запасных веществ семян, используемая для этих целей, может меняться в зависимости от генотипа и условий произрастания (Sikder, Hasan, Hossain, 2009), в частности и от влияния ШОТ. В статье приводятся результаты сравнительной оценки «стоимости» ресурсов, израсходованных различными сортами озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) для выживания прорастающих семян после воздействия на них отрицательных температур, вызвавших ШОТ. Мы поставили задачу определить эффективность мобилизации запасных веществ, затраченных семенем в норме и после воздействия ШОТ, с целью разработки методов для ускоренной оценки устойчивости генотипов озимой пшеницы к морозу.

Материалы и методы

В исследовании использовали семена различных сортов озимой пшеницы урожая 2019 года, собранного с опытного поля Института генетики, физиологии и защиты растений, Кишинёв, Молдова. Перед началом эксперимента все семена дезинфицировали кратковременным погружением их в 0,01%-ном растворе перманганата калия, с последующей тщательной их промывкой водопроводной водой. После 36 часов замачивания в дистиллированной воде, при температуре +4°C, семена разделяли на 4 варианта (один контрольный и три опытных), каждый вариант в 3-х кратной повторности. Перед прорастанием, семена опытных вариантов инкубировали при 0°C в течение 8 часов, после чего подвергали *ШОТ* путем инкубации при определенной отрицательной температуре, в течение 16 часов, в климатической камере RUMED – 3401 (Германия). Для определения процента прорастания, семена контрольного и опытных вариантов высаживали в контейнеры на влажных хлопковых дисках (с посевной способностью 420 семян), инкубировали в темноте при температуре +25°C и относительной влажности воздуха 70-80% в течение 120 часов. В этих условиях, процент прорастания семян контрольного варианта у всех сортов был практически одинаковым (98–100%). Первоначально определяли значение температуры *границного шока отрицательных температур* ($ШОТ_{гр.}$), которое в течение 16 часов приводит к снижению прорастания семян пшеницы сорта Молдова 5 до 50%. Впоследствии мы исследовали влияния $ШОТ_{гр.}$ на семена опытных вариантов различных сортов пшеницы для определения процента их прорастания и ранжирования устойчивости генотипов.

Дополнительно определяли «стоимость» устойчивости генотипов к $ШОТ_{гр.}$ путем оценки единицы биомассы запасных веществ эндосперма использованной на формирование биомассы проростка, и в отдельности, корневой системы и побега. Биомассу эндосперма, в начале исследований и после прорастания, а также корневой системы и побегов проростков, определяли

после того как их выдерживали в климатической камере RUMED – 3401 при температуре + 105°C до достижения постоянной массы.

Все нижеследующие формулы применялись к семенам генотипов озимой пшеницы после того, как их инкубировали на прорастание в течение 120 часов при температуре +25°C и относительной влажности воздуха 70–80%.

Процент прорастания семян s_g определяли по формуле:

$$s_g = \frac{N_g}{N} * 100\% , \quad (1)$$

где N_g – количество проросших семян; N – общее количество семян в повторности.

Масса запасных веществ зерна озимой пшеницы m_{rs} , которая была израсходована генотипом для его прорастания и роста проростка вычисляли по формуле:

$$m_{rs} = m_0 - m_i , \quad (2)$$

где m_0 – первоначальная сухая масса зерна; m_i – остаточная сухая масса эндосперма зерна.

Оценка количества сформировавшейся биомассы проростка r , корневой системы r_r и побега r_{sh} на единицу использованной биомассы запасных веществ зерна вычисляли по следующим формулам:

$$r = \frac{m_r + m_{sh}}{m_{rs}} ; \quad (3)$$

$$r_r = \frac{m_r}{m_{rs}} ; \quad (4)$$

$$r_{sh} = \frac{m_{sh}}{m_{rs}} ; \quad (5)$$

где m_r – сухая масса корневой системы; m_{sh} – сухая масса побега; m_{rs} – масса израсходованных запасных веществ эндосперма зерна (см. формулу 2).

Статистическую обработку результатов проводили, определяя среднее значение, стандартное отклонение средней и достоверность разницы между средними величинами (Clewer, Scarisbrick, 2001).

Анализ результатов

На рисунке 1 приведены результаты определения процента прорастания контрольного и опытных вариантов семян озимой пшеницы сорта Молдова 5.

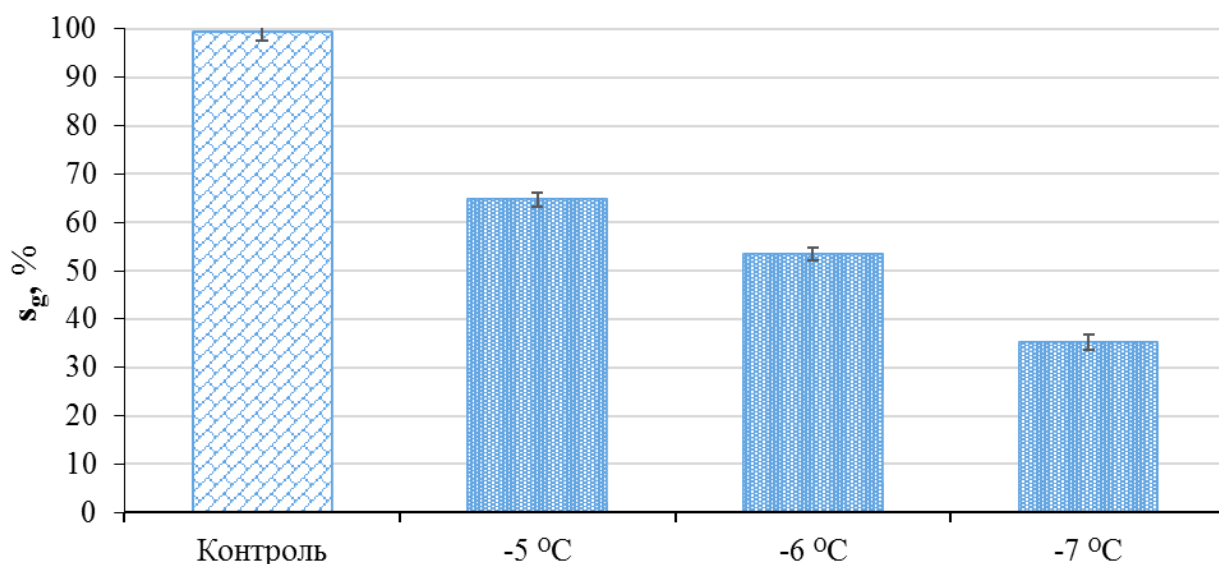


Рис. 1. Процент прорастания s_g контрольных и опытных семян пшеницы сорта Молдова 5 после их инкубации в темноте в течение 120 часов при температуре +25°C. Семена опытных вариантов предварительно подвергались воздействию ШОТ в темноте в течение 16 часов при температурах -5°C, -6°C и -7°C.

В отличие от контрольного варианта, в опытных вариантах семена перед прорастанием подвергали ШОТ в течение 16 часов при температуре -5°C, -6°C и -7°C. Из рисунка видно, что после шока, вызванного инкубацией семян при температуре -6°C, их прорастание практически снижалось до 50%. Именно эти условия были нами выбраны для сравнительной оценки реакции семян различных сортов пшеницы на воздействие отрицательных температур, выделив таким образом параметры ШОТ_{гр.}

На рисунке 2 приведены данные об отношении биомассы эндосперма опытных вариантов, использованной для прорастания семян, и роста проростков к соответствующей биомассе контрольного варианта пшеницы сорта Молдова 5.

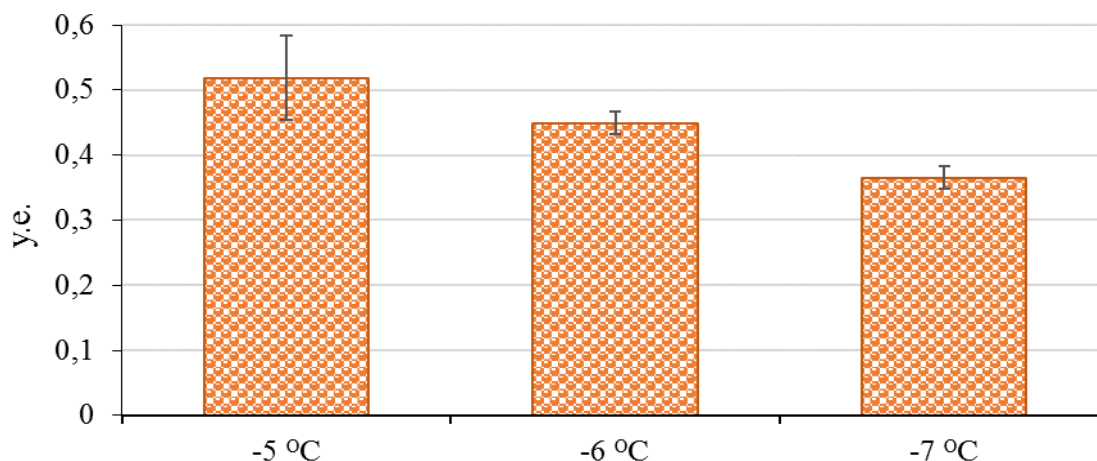


Рис.2. Отношение использованной массы запасных веществ эндосперма семян опытных вариантов к соответствующей массе контроля сорта озимой пшеницы Молдова 5 после их прорастания в темноте течение 120 часов при температуре +25°C. Семена опытных вариантов предварительно подвергались воздействию ШОТ в темноте в течение 16 часов при -5°C, -6°C и -7°C.

Из рисунка видно, что после воздействия ШОТ при температурах -5°C, -6°C и -7°C эти соотношения составляют 0,51, 0,45 и 0,37 соответственно. Из этого следует, что со снижением температуры, вызывающей ШОТ, доля использованной биомассы запасных веществ эндосперма прогрессивно падает. При этом степень снижения данного показателя, при каждой температуре, вызвавшей ШОТ, был всегда более выражен, чем соответствующее снижение процента прорастания семян (сравните данные рисунков 2 и 1).

Исследования показали, что с понижением температуры ШОТ значения коэффициентов r , r_r и r_{sh} уменьшались. Так, например, для проростков озимой пшеницы Молдова 5 на рисунке 3 значения r контроля было 0.44 (+25°C), а для опытного варианта 0,29 (ШОТ -7°C). Это означает, что для прорастания семян и развития проростка, при более низких значениях ШОТ, расходуется больше запасных веществ зерна, т.е. «стоимость» устойчивости генотипа растет. Из рисунка также видно, что корневая система пострадала в большей степени от ШОТ, чем надземная часть и расходы резервов на ее развитие выше.

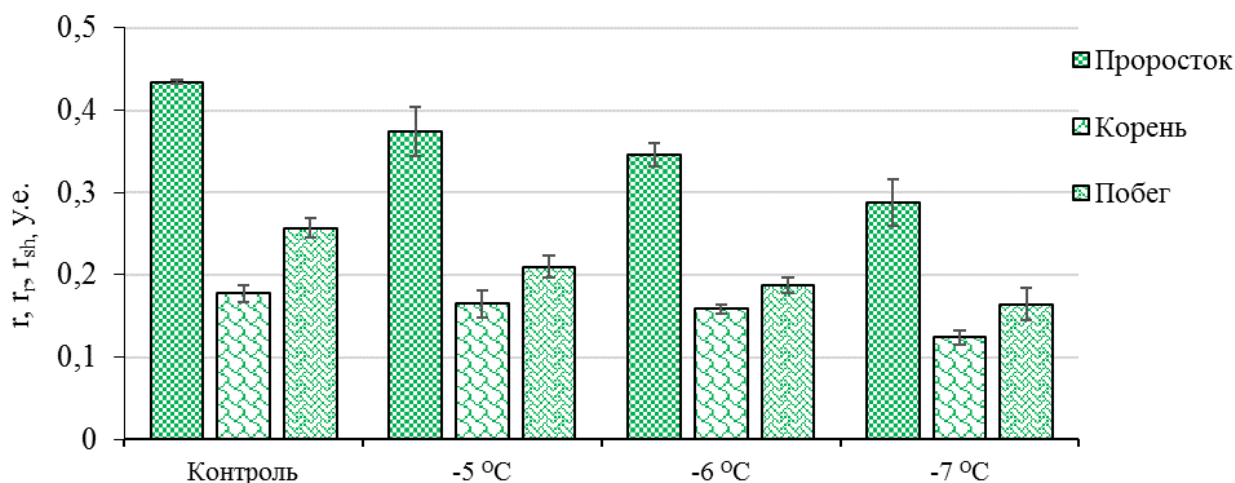


Рис. 3. Оценка доли биомассы проростка r , его корневой системы r_r и побега r_{sh} на единицу использованной биомассы резервных веществ зерна озимой пшеницы Молдова 5 после их инкубаций в темноте в течение 120 часов при $+25^{\circ}\text{C}$. См. формулы (3–5). Семена опытных вариантов предварительно подвергались воздействию температур -5°C , -6°C и -7°C в темноте в течение 16 часов.

Данные о реакции семян различных сортов пшеницы на воздействие $ШОТ_{зр.}$, приведённые на рисунке 4, позволяют ранжировать генотипы согласно увеличению процента прорастания семян. Можно отметить, что наиболее высоким процентом прорастания характеризовались семена сортов Молдова 66 и Молдова 11 (62 и 59%), а самым низким – семена сортов Молдова 614 и Молдова 77 (26 и 32%). Семена остальных трех сортов заняли промежуточное положение. Таким образом, исследуемые сорта пшеницы можно условно разделить на три группы, сорта с низкой (Молдова 614 и Молдова 77), средней (Молдова 5, Куяльник, Молдова 79) и высокой (Молдова 66 и Молдова 11) реакцией на $ШОТ_{зр.}$

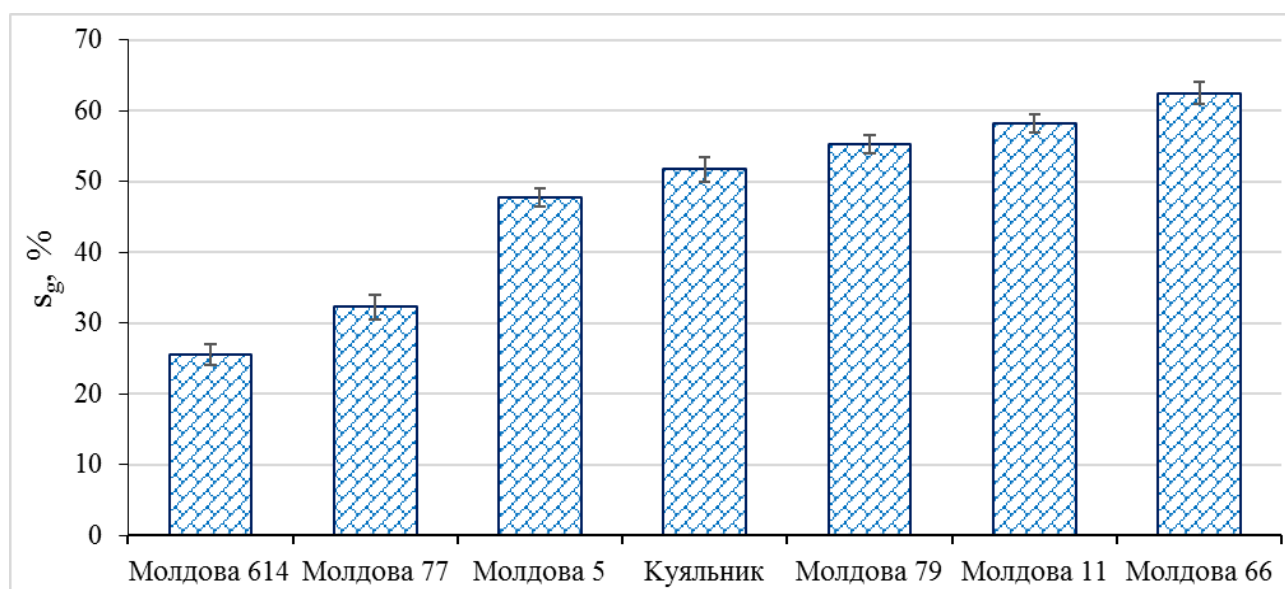


Рис. 4. Процент прорастания семян опытных вариантов озимой пшеницы после их инкубирования в темноте в течение 120 часов при температуре $+25^{\circ}\text{C}$, которые предварительно подвергались воздействию -6°C в темноте в течение 16 часов ($ШОТ_{сп.}$).

На рисунке 5 приведены данные, характеризующие долю биомассы проростка, а также его корней и надземной части, от биомассы эндосперма зерна, которая была израсходована для прорастания и роста у различных сортов пшеницы. На рисунке 5а и 5б представлены диаграммы с указанными показателями для контрольных и опытных вариантов соответственно. Из рисунка 5а видно, что в контрольных вариантах эффективность использования биомассы эндосперма для накопления биомассы растения варьирует от 0,46 (сорт Молдова 614) до 0,58 (сорт Молдова 66). Видно также, что, как правило, с увеличением этого показателя для целого растения, он закономерно возрастал также для корней и надземной части. Интересно заметить, что после воздействия на семена температурой характерной для $ШОТ_{сп.}$ (рисунок 5б), распределение сортов по возрастанию доли массы эндосперма, проявленной как масса проростка (суммы массы корней и надземной части), не отличалось от их распределения в контрольном варианте. При этом указанная доля возрастала от 0,17 (сорт Молдова 614) до 0,55 (сорт Молдова 66).

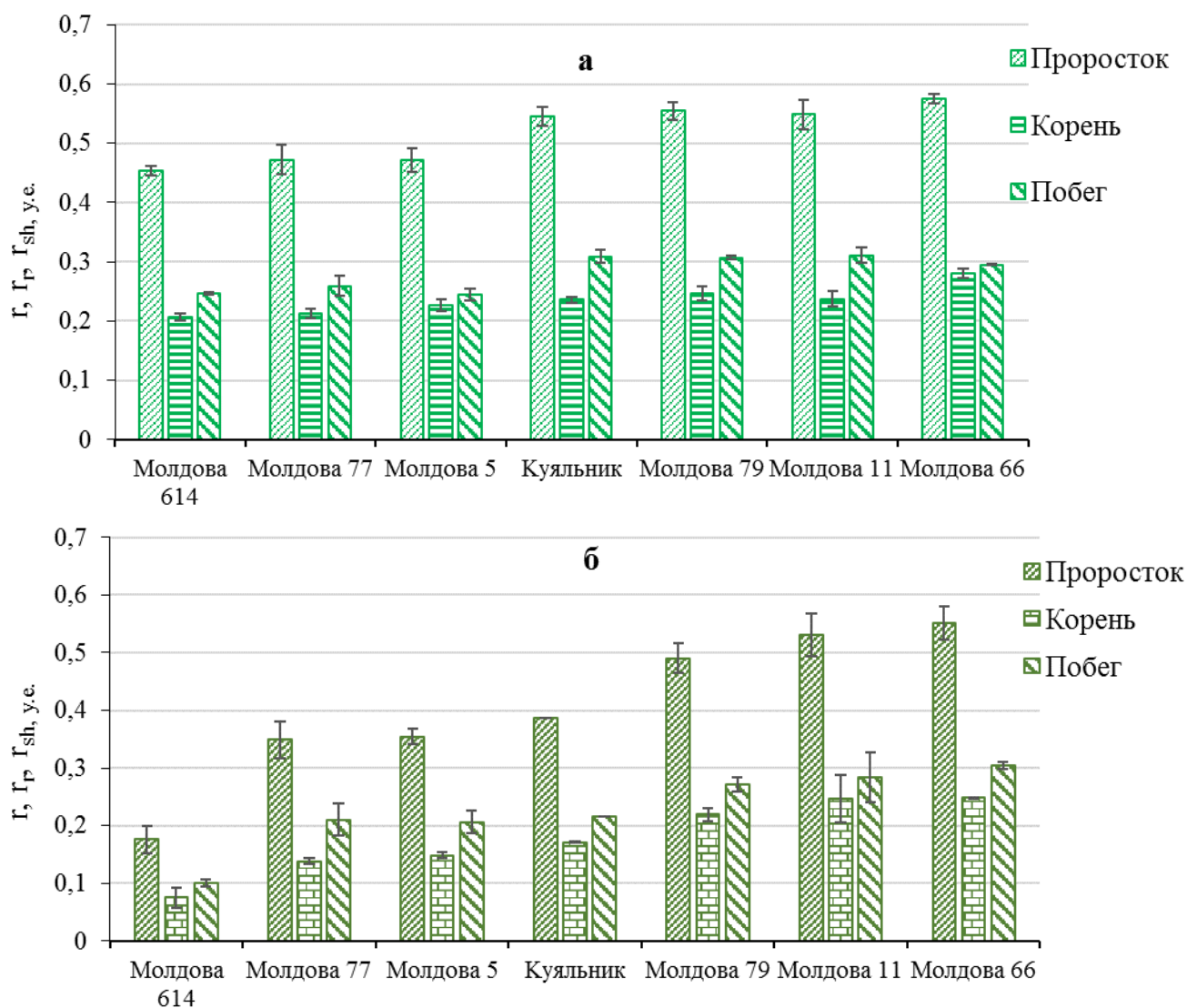


Рис. 5. Оценка доли биомассы проростка r , его корневой системы r_p и побега r_{sh} в зависимости от использованной биомассы запасных веществ эндосперма семян различных сортов озимой пшеницы после их инкубации в течение 120 часов при температуре $+25^{\circ}\text{C}$ (5а – контроль, 5б – опытные варианты). См. формулы (4–5). Семена всех опытных вариантов предварительно подвергались воздействию температурой -6°C в течение 16 часов ($ШОТ_{cp.}$).

Численный интервал различий величин характерных для границы крайних значений распределения сортов расширилось от 0,12 у контрольных (0,46–0,58) до 0,38 (0,17–0,55) единиц у опытных вариантов, хотя распределение сортов по обоим показателям осталось неизменным. Следует также заметить, что после воздействия $ШОТ_{cp.}$ соотношение доли биомассы эндосперма семени, проявляющейся в корнях и надземной части, в опытных и в контрольных

вариантах у разных сортов также практически одинаково. Больше всего пострадали от воздействия *ШОТ_{зр.}* те сорта, которые в опытном варианте менее рационально израсходовали эндосперм для накопления биомассы проростка.

Учитывая высокую разрешающую способность и производительность предлагаемого способа сравнительной оценки морозостойкости генотипов озимой пшеницы на основе тестирования их ответной реакции на воздействия *ШОТ_{зр.}*, мы считаем необходимым в будущем разработать метод оценки устойчивости генотипов пшеницы к жаре, основанный на тех же принципах. Это позволит интегрально оценить устойчивость генотипов пшеницы к экстремальным температурам, расширение вариации которых можно ожидать в будущем в связи с угрозой глобального потепления климата.

Выводы

1. Сравнительную оценку устойчивости различных сортов пшеницы к морозу можно проводить ускоренным методом путем воздействия на подготовленные для прорастания семена шоком отрицательных температур в граничной дозе (*ШОТ_{зр.}*), которая вызывает последующее ингибирование прорастания семян средне морозоустойчивого сорта на 50%, а затем испытывать влияние этой дозы на семена других сортов и генотипов.

2. Семена сортов, которые более рационально использовали израсходованную часть эндосперма при прорастании, сохраняли эту способность и после воздействия *ШОТ_{зр.}* Более того, численные различия между «экономными» и «менее экономными» сортами при этом возрастали, что свидетельствует о перспективности использования *ШОТ_{зр.}* для сравнительной оценки морозоустойчивости озимой пшеницы ускоренным методом.

Список литературы

1. Atkinson N. J., Urwin P. E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field // *Journal of Experimental Botany*. 2012. Vol. 63. No. 10. P. 3523–3544. DOI: 10.1093/jxb/ers100.
2. Clewer A. G., Scarisbrick D. H. Practical statistics and experimental design for plant crop science // John Wiley & Sons, LTD, Chichester, New York, 2001. 332 p.
3. Jan N., Mahboob-ul-Hussain, Andrabi K. I. Cold resistance in plants: A mystery unresolved // *Electronic Journal of Biotechnology*. Vol. 12. No. 3, Issue of July 15. 2009. DOI: 10.2225/vol12-issue3-fulltext-3.
4. Mirouze M., Paszkowski J. Epigenetic contribution to stress adaptation in plants // *Plant biology*. 2011. Vol. 14. Issue 3. P. 267–274. DOI: 10.1016/j.pbi.2011.03.004.
5. Potters G., Pasternak T. P., Guisez Y., Jansen M. A. Different stresses, similar morphogenic responses: integrating a plethora of pathways. // *Plant, Cell and Environment*. 2009. Vol. 32. No. 2. P. 158–169. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2008.01908.x.
6. Purrington C. B. Costs of resistance // *Plant Biology*. 2000. Vol. 3. Issue 4. P. 305–308. DOI: 10.1016/S1369-5266(00)00085-6.
7. Sanghera G. S., Wani Sh. H., Hussain W., Singh N. B. Engineering cold stress tolerance in crop plants // *Current Genomics*. 2011. Vol. 12. No. 1. P. 30–43.
8. Sikder S., Hasan M. A., Hossain M. S. Germination Characteristics and Mobilization of Seed Reserves in Maize Varieties as Influenced by Temperature Regimes // *J. of Agriculture & Rural Development*. June 2009. Vol. 7. No. 1–2. P. 51–56. DOI: org/10.3329/jard.v7i1.4421.

**ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ АГРОФИТОТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА
ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗМЕЕГОЛОВНИКА МОЛДАВСКОГО
(*DRACOCEPHALUM MOLDAVICA* L.)**

Т. Г. Железняк, З. Н. Ворнику, Н. В. Баранова
*Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений (ИГФЗР),
Кишинёв, Республика Молдова*

Приводятся данные по изучению влияния некоторых проведенных агрофитотехнических мероприятий (дополнительной подкормки и поливов) на показатели продуктивности змееголовника. Было установлено, что применение дополнительной подкормки аммиачной селитрой и последующих поливов обеспечивает повышение урожайности сырья на 60%, сбора эфирного масла на 45%, сбора сухого фармацевтического сырья на 53% и составляет 22,5 т/га, 52,2 кг/га и 7 т/га соответственно.

**THE INFLUENCE OF SOME AGROPHYTOTECHNICAL FACTORS ON
THE PRODUCTIVITY OF THE MOLDAVIAN DRAGONHEAD
(*DRACOCEPHALUM MOLDAVICA* L.).**

T. G. Zheleznyak, Z. N. Vorniku, N. V. Baranova
*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection (IGFPP),
Moldova, Chisinau.*

The Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) is a promising essential oil, spicy and medicinal plant with versatile action, excellent taste and lemon aroma. Nowadays, the Moldavian dragonhead is in demand not only as an essential oil plant, but also as a pharmaceutical raw material, because it is used for of the biologically active additives, phyto teas, being a component of which it has not only a medicinal effect, but also improves the taste; As a component it is found in the recipe of such phyto teas as "Finetea naturii", "Digesti plus", "Baby ceai" and others, produced in Moldova by the company "Doctor Farm".

There are presented data on the impact of some agrophytotechnical measures (additional fertilization and irrigation) on the productivity indicators of the dragonhead. The study included the following options of dragonhead cultivation: 1-cultivation under normal conditions - Control; 2-cultivation with additional fertilization N45, without watering in the phase of budding; 3-cultivation with additional fertilization N45 and subsequent 4 waterings on vegetation from the beginning of budding to full bloom.

It was found out that application of additional fertilization with ammonium nitrate and subsequent irrigations provides increase of raw material yield by 60%, collection of essential oil by 45%, collection of dry pharmaceutical raw material by 53% and makes 22,5 t/ha, 52,2 kg/ha and 7 t/ha respectively against 13,9 t/ha, kg/ha and 4,5 t/ha in the control version. The raw material met quality standards - it was well foliated, contained a large number of flowers, buds, which gave the raw material its best taste and suitable trade dress.

Additional fertilization without further irrigation was not so effective and gave an excess of 21% of raw material yield, 16% of essential oil yield and amounted to 16,9t/ha and 41.6 kg/ha. Collection of pharmaceutical raw materials was at the level of 5.4 t/ha, which is only 17% higher than the control option.

Введение

Змееголовник молдавский (*Dracosephalum moldavica L.*) – перспективное эфиромасличное, пряно-ароматическое и лекарственное растение с многосторонним действием и прекрасным вкусом, и лимонным ароматом. Эфирное масло, флавоноиды, фенокислоты и многие другие компоненты, входящие в состав этого растения, являются биологически активными веществами и обуславливают лечебный эффект растения (Muntean, 1996; Teleuța, Colțun, 2008). В отдельных европейских странах его выращивают в качестве лекарственного растения - заменителя мяты лекарственной. Змееголовник проявляет успокаивающее, желчегонное, противовоспалительное действие, благоприятно влияет при переутомлении, повышенной возбудимости (Verzea, 1986). В надземной части этой культуры, в зависимости от локализации, содержится 0,12–0,35% эфирного масла. Эфирное масло змееголовника ценно высоким содержанием в нем цитраля (до 70%), гераниола, цитронеллала, геранил ацетата, суммарное содержание которых составляет 81–91%.

В настоящее время змееголовник молдавский востребован не только как эфиромасличное, но и как фармацевтическое сырье, т. к. входит в состав биологически активных добавок, фито чаев, в составе которых оказывает не только лекарственное действие, но и улучшает вкус, выпускается в виде брикетов и капсул. Змееголовник молдавский входит в состав фито чаев «Finetea naturii», «Digesti plus», «Baby ceai» и др., производимых в Молдове фирмой «Doctor Farm».

Для повышения качества эфиромасличного и фармацевтического сырья необходимо, чтобы оно состояло в основном из продуктивных частей растения - листьев, бутонов, цветов.

Змееголовник предъявляет повышенные требования к почвенному плодородию, поэтому дополнительная подкормка минеральными удобрениями приведет к росту урожайности ароматического сырья этой культуры. Хотя

змееголовник хорошо переносит засуху в период полного цветения, в начальный период роста он предъявляет повышенные требования к влаге (Мустьяцэ,1988; Musteața, Jelezneac, Timciuc et al., 2014).

Исходя из того, что змееголовник накапливает основную биомассу в период начала бутонизации, были инициированы исследования эффективности применения некоторых агрофитотехнических мероприятий – дополнительной подкормки с последующими поливами на показатели продуктивности и качества этой культуры.

Материалы и методы

Исследования проводились в центральной зоне Молдовы на изолированном открытом участке Института Генетики, Физиологии и Защиты Растений с районированным сортом Арома-1. Посевы производились в первой декаде апреля нормой 6 кг/га кондиционных семян всхожестью более 75%. Ширина междурядий составляла 70 см, глубина заделки семян – 2–3 см.

Дополнительная подкормка была произведена 15 июня аммиачной селитрой N_{45} на фоне внесения $N_{30}P_{30}K_{30}$ при проведении предпосевной культивации. Активный верхний слой почвы (0–40 см) поддерживался во влажном состоянии путем осуществления четырех поливов по бороздам нормой 150–200 м³/га в период начала бутонизации до полного цветения (15 июня, 28 июня, 14 июля, 25 июля).

Определение морфологических и хозяйственно – полезных признаков у змееголовника производился в фазе полного цветения, когда 70–80% цветков в соцветиях цветут либо отцвели и формируют семена. Уборка производилась по линии облиственности растений. Полученные урожайные данные обрабатывались по Доспехову (Доспехов, 1979). Содержание эфирного масла определялось методом гидродистилляции по Гинзбергу (Гринкевич, Сафронич,1983).

В изучении находились следующие варианты:

V₁ – возделывание в обычных условиях – Контроль;

V₂ – возделывание с применением дополнительной подкормки;

V₃ – возделывание с применением дополнительной подкормки и последующими четырьмя поливами.

Результаты исследований

Первые всходы стали появляться на 10–15 день, к середине мая растения сформировали 3–5 пар настоящих листьев. В середине июня была отмечена фаза бутонизации, в середине июля – начала цветения, к концу месяца – полного цветения. Период вегетации для получения ароматического сырья у змееголовника составляет 95–105 дней.

Растения, возделываемые с применением дополнительной подкормки и последующими поливами, были самыми развитыми. Их высота достигала 86см против 82см в варианте без поливов и 77см в контрольном варианте. При этом облиственная часть была в пределах 71–74% от общей длины надземной части растений. Масса 10 растений составляла 828 г, что превысило остальные варианты на 34% и 46% соответственно. При этом во всех трех вариантах облиственная часть составляла 84% от общей массы растений (таблица).

Исследования показали, что змееголовник имеет положительную реакцию на применение дополнительной подкормки с последующими поливами при определении показателей продуктивности.

Таблица. Показатели роста и развития змееголовника молдавского в фазе полного цветения

Показатели роста и развития	Варианты		
	1	2	3
Густота стояния, ед./м ²	68	69	67
Высота растений, см	77,0	81,7	85,6
Длина облиственной части, см	57,0	57,7	63,1
Масса 10 растений, г	385	543	828
Масса облиственной части, г	324	458	698
Влажность сырья, %	71,52	72,39	72,74

Урожайность свежесобранного ароматического сырья составила 22,30 т/га, что на 60% превысило этот показатель в контрольном варианте – 13,98 т/га и на 21% вариант без полива (рис. 1).

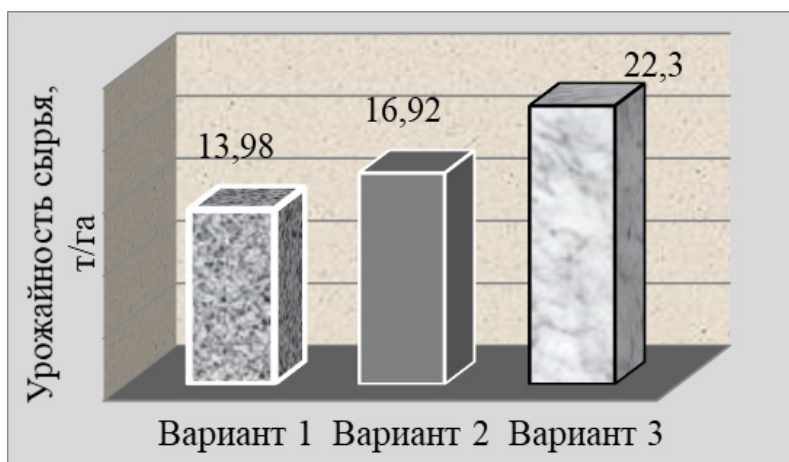


Рис. 1. Урожайность сырья змееголовника при различных условиях возделывания, т/га

Сырье было убрано в период массового цветения, когда содержание эфирного масла максимальное и в свежесобранном сырье составляет 0,234–0,257%, при этом наибольшее количество содержалось в контрольном варианте (рис. 2).

Содержание эфирного масла в абсолютно сухом сырье составляло 0,858–0,902%.

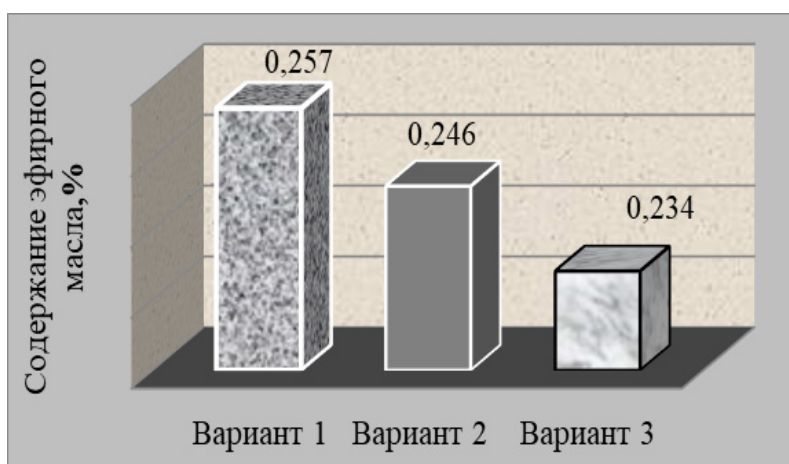


Рис. 2. Содержание эфирного масла змееголовника при различных условиях возделывания, %

Влажность сырья при уборке была в пределах 71,52-72,74%, при этом наименьший показатель был в контрольном варианте, а в варианте с поливом наибольший.

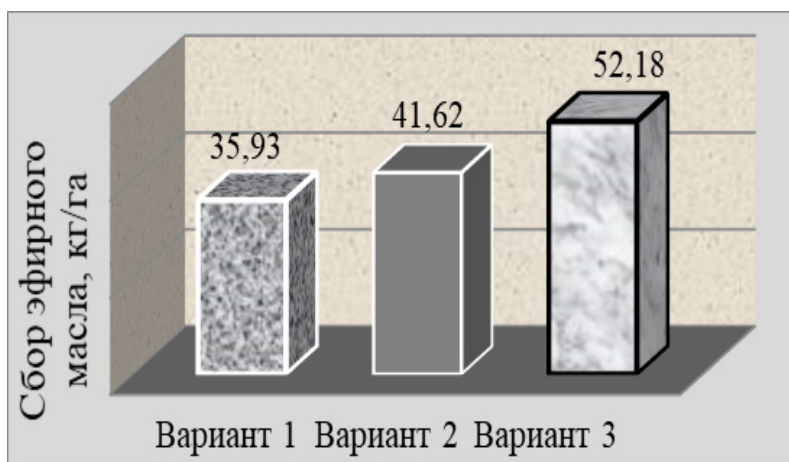


Рис. 3. Сбор эфирного масла змееголовника при различных условиях возделывания, кг/га

Однако сбор эфирного масла максимальным был в варианте с поливами из-за большой массы сырья и составил 52,18 кг/га, что на 45% выше контроля, где сбор эфирного масла был на уровне 35,93 кг/га (рис. 3).

В варианте, где осуществлялась лишь дополнительная подкормка без полива, сбор эфирного масла составил 44,63 кг/га, превышение составило лишь 16%.

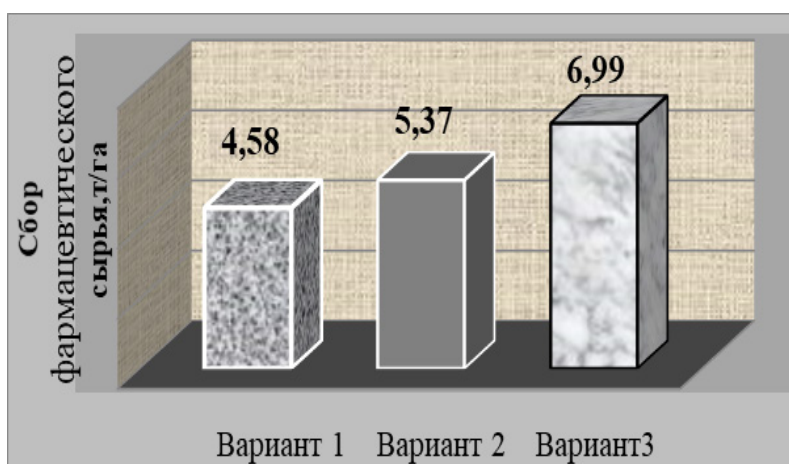


Рис. 4. Сбор сухого фармацевтического сырья змееголовника при различных условиях возделывания, т/га

Сбор сухого ароматического сырья при 13% влажности также максимальным был в варианте с поливами – 6,99 т/га, что превысило контроль (4,58 т/га) на 53%. В варианте только с подкормкой сбор фармацевтического сырья составил 5,37 т/га, что незначительно превысил контроль – на 17% (рис. 4)

Выводы

1. Применение некоторых агрофитотехнических мероприятий в начале бутонизации (дополнительной подкормки и орошений) положительно повлияло на показатели продуктивности змееголовника молдавского сорта Арома-1, так как к фазе массовой бутонизации эта культура в условиях Молдовы накапливает около 90% облиственной массы, составляющей базу ароматического и фармацевтического сырья хорошего качества.

2. Осуществление дополнительной подкормки N₄₅ и поддержания активного верхнего слоя почвы во влажном состоянии путём осуществления в период вегетации четырех поливов по бороздам позволяет растениям во время массового цветения нарастить большую биомассу. Это обеспечило повышение урожайности ароматического сырья на 60%, сухого фармацевтического сырья на 53%, сбор эфирного масла на 45%, что составило 22,3 т/га, 7,0 т/га и 52,2 кг/га соответственно против 13,9 т/га, 4,6 т/га и 35,9 кг/га в контрольном варианте.

3. Применение дополнительной подкормки аммиачной селитрой без осуществления в дальнейшем поливов было не столь эффективно и дало превышение по сбору ароматического сырья на 21%, сбору эфирного масла лишь на 16% и сухого фармацевтического сырья на 17%, что соответствовало 16,9 т/га, 5,4 т/га и 41,6 кг/га соответственно.

Список литературы

1. Muntean L. S. Cultura plantelor medicinale si aromatice. Cluj-Napoca: Dacia, 1996. 252 p.
2. Teleuța A., Colțun M. et. el. Plante medicinale. Chișinău: Litera Internaționala, 2008. 336 p.
3. Verzea M. *Dracocephalum moldavica* L. - mataciune. // Tratat de plante medicinale si aromatice cultivate. Vol.1. București: Ed. Ac. R. S. Rom., 1986. P. 254–260.
5. Мустяцэ Г. И. Возделывание ароматических растений. Кишинев: Штиинца, 1988. 197 с.
6. Musteața G., Jelezneac T., Timciuc K. et. al. Productia de mataciune (*Dracocephalum moldavica* L.) în funcție de epoca de recoltare // Genetica, Fiziologia si Ameliorarea Plantelor: Materialele Conferinței Științifice Internaționale. Chișinău, 2014. P. 393–397.
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979, 416 с.
8. Химический анализ лекарственных растений: Учеб. пособие для фармацевтических вузов / Под редакцией проф. Гринкевич Н. И., доц. Сафронич Л. И. М.: Высшая школа, 1983, 176 с.

ДЕЙСТВИЕ БИОРЕГУЛЯТОРОВ ИЗ *VERBASCUM DENSIFLORUM* НА МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ

Р. А. Иванова¹, А. Д. Боровская¹, Н. Е. Мащенко¹, Л. И. Шпак²

¹*Институт генетики, физиологии и защиты растений, Кишинев;*

²*Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства*

Изучено влияние биорегуляторов растительного происхождения на всхожесть, рост, развитие и урожайность капусты белокочанной. Показано, что применение суммы биологически активных соединений из *Verbascum densiflorum* Bertol. для предпосевного замачивания семян способствует получению дополнительно 14,5 т/га стандартных кочанов капусты, что позволяет рекомендовать данный метод в качестве элемента технологии выращивания капусты.

THE EFFECT OF BIOREGULATORS FROM *VERBASCUM DENSIFLORUM* ON THE MORPHO-PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WHITE CABBAGE

R. A. Ivanova¹, A. D. Borovskaia¹, N. E. Mascenco¹, L. I. Spak²

¹*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau;*

²*Transnistrian Research Institute of Agriculture, Tiraspol*

The phenomenon of drought and the changeable weather patterns constitute a negative aspect of the climate in the Republic of Moldova, which forces the introduction of new techniques to increase the sustainability of crops. One of them is the use of biologically active growth substances, which contribute to stimulating seed germination, improve rooting of seedlings, regulate fruit formation and accelerate fruit ripening, increase drought tolerance and resistance to diseases of plants, as a result, leads to an increase in productivity. The effect of biologically active substances of plant origin on the germination, growth, development and productivity of white cabbage was studied. The pre-sowing soaking of seed with the sum of iridoid and phenolic compounds (verbascosides), obtained by exhaustive extraction of the aerial part of *Verbascum densiflorum* Bertol using aqueous-ethanol solutions followed by their purification by adsorption-distribution chromatography, created the most favorable conditions for growth and development of white cabbage. Evaluation of these compounds effect revealed their stimulating effect on the primary processes of seed metabolism, expressed in a significant increase in germination energy and total germination. The use of verbascosides for pre-sowing soaking of seeds accelerated the intensity of seedling development in the greenhouse. Seedling germination on the 5th day after sowing, in experimental plots exceeded control plot by 27.3%. The plants were distinguished by a stronger stem, bright coloring of leaf rosette and were more developed than control plants. Pre-sowing seed treatment stimulated the formation of seedling roots and improved survival after transplantation of seedlings in the field conditions. In addition, these bioregulators had a positive effect on the production process, contributing to an increase in the cabbage yield by 34.3% in comparison with the control. In the experimental plots, the heads of regular round shape with a bright green color, good resistance to cracking, high uniformity in shape and size, and with an excellent yield of marketable products

prevailed. Their average weight exceeded the control plants by 1.2 kg, which led to an additional 14.5 tons of standard head cabbage per one hectare. The results of the studies allow us to recommend the pre-sowing seed treatment with 0.01% aqueous solution of biologically active substances from *Verbascum densiflorum* Bertol. as an element of technology for white cabbage cultivation.

Повышение устойчивости овощных культур к неблагоприятным условиям произрастания является существенным резервом увеличения урожайности при уже достигнутом уровне интенсификации их производства. Реализация ресурсосберегающих и, что крайне важно, экологически безопасных технологий производства овощей на первый план выводит применение в качестве регуляторов роста биологически активные вещества природного происхождения. Продукты вторичного метаболизма высших растений – флавоноиды, иридоиды, стероиды как в свободном, так и в форме гликозидов, в последние десятилетия привлекают пристальное внимание исследователей в связи с широким спектром их действия. Они способны в малых концентрациях влиять на интенсивность протекания физиологических процессов в растении, особенно при неблагоприятных условиях выращивания последних (Алексеева, 2008).

Климат Республики Молдова – умеренно континентальный, а его негативный аспект в регионе составляют явления засухи и нестабильный характер погоды. Пренебрежение современными принципами земледелия привело к снижению плодородия почв, что отрицательно сказалось и на урожайности овощных культур. Так, средний показатель урожайности капусты белокочанной в 2018 году по республике колебался в пределах 14,0–15,0 т/га, а в специализированных хозяйствах 28,0–29,0 т/га (Статистический ежегодник РМ, 2019).

Причинами низкой урожайности капусты являются не только агрометеорологические условия вегетационного периода, но и несовершенство овощных севооборотов, не всегда обоснованное использование минеральных и органических удобрений, отсутствие сортов местной селекции (Ботнар, 1985;

Аутко, 2003). Поэтому особое значение приобретает использование новых приемов, способных увеличить продуктивность культуры. Одним из них является применение экологически безопасных биологически активных ростовых веществ, которые не только повышают всхожесть семян, улучшают укоренение рассады, регулируют плодообразование и ускоряют созревание плодов, но и индуцируют засухоустойчивость и резистентность растений к комплексу болезней, что в результате приводит к повышению урожая (Галеева, Езепчук, 2011; Borovskaia et al., 2019).

Целью данной работы являлось определение регуляторных свойств биологически активных веществ, выделенных из некоторых представителей дикорастущей флоры сем. *Scrophulariaceae*, и изучение их влияния на жизнеспособность семян, урожайность и биохимические показатели капусты белокочанной (*Brassica oleracea* L., сем. Brassicaceae Burnett).

Объектом исследования являлся среднеспелый гибрид капусты белокочанной Шедевр F₁ селекции Приднестровского НИИ сельского хозяйства.

Предварительное лабораторное тестирование проводили по методике, апробированной на семенах других овощных культур, а именно: семена капусты замачивали на 24 часа в водных растворах биологически активных веществ, полученных из различных растительных объектов, в диапазоне концентраций 0,0001...0,1%. В эксперименте использовали суммы иридоидных и фенольных гликозидов из *Linaria vulgaris* Mill. (линарозиды), *Verbascum densiflorum* Bertol. (вербаскозиды), *Linaria genistifolia* L. (генистифолиозиды), *Veronica officinalis* L. (верофозиды), полученные путем исчерпывающей экстракции надземной части растений водным этанолом на кипящей водяной бане с последующей очисткой полученных экстрактов адсорбционно-распределительной хроматографией на колонках с сорбентом (Мащенко, Боровская, 2018). Для сравнения использовали препарат Экостим, разработанный на основе стероидного гликозида –

томатозиды и разрешенный к использованию в качестве регулятора роста овощных культур.

Лабораторная оценка эффективности исследуемых соединений выявила их стимулирующее влияние на первичные процессы метаболизма семян капусты, выразившееся в повышении энергии прорастания и общей всхожести. По показателям энергии прорастания выделились варианты, где для замачивания семян применяли растворы вербаскозидов и верофозидов в концентрации 0,001% и генистифолиозидов – 0,0001%. Энергия прорастания в этих опытах превосходила контроль на 4,0–4,2%. При действии биорегуляторов общая всхожесть семян капусты во всех опытах увеличивалась, и в зависимости от типа биологически активных веществ и их концентрации превосходила контроль на 2,3–16,2%. Исключение представляет вариант с применением 0,1% раствора верофозидов. На рисунке 1 представлены данные общей всхожести семян, рассчитанные относительно контроля. Относительный показатель всхожести минус 5,1% (верофозиды, 0,1%) объясняется способностью биорегуляторов в высоких концентрациях проявлять рост ингибирующие свойства (рис. 1).

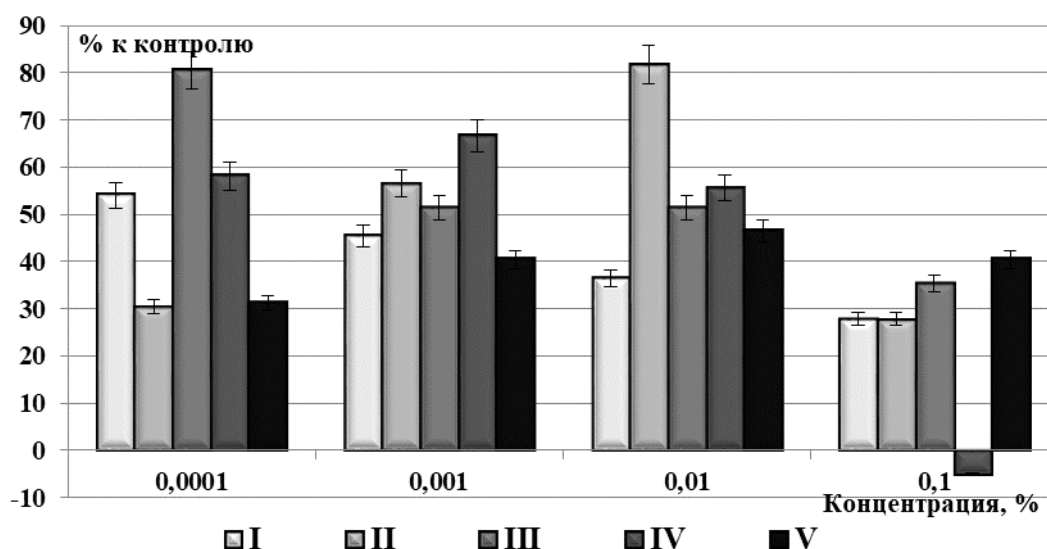


Рис. 1. Влияние биорегуляторов на лабораторную всхожесть семян капусты белокочанной: I – линарозиды, II – вербаскозиды, III – генистифолиозиды, IV – верофозиды, V – Экостим.

Исходя из результатов лабораторного тестирования биорегуляторов, для производственных исследований предпосевной обработки семян капусты белокочанной был отобран 0,01%-й раствор суммы иридоидных и фенольных соединений из *V. densiflorum*, проявивший при лабораторном тестировании наибольший положительный эффект на всхожесть (повышение на 16,2%). Посев обработанных семян был проведен в пленочной теплице, а высадка рассады в открытый грунт на 45 день по схеме 90×50 см. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднемощный. Орошение – капельное.

Применение данного раствора для предпосевного замачивания семян капусты в производственном испытании ускорило появление всходов и интенсивность развития рассады в пленочной теплице. На 5-й день после посева всхожесть рассады в экспериментальных опытах превышала контрольные данные на 27,3%. Растения отличались более сильным стеблем, сочной окраской листовой розетки и превосходили контрольные растения по росту и развитию.

Тенденция положительного влияния суммы биорегуляторов из *V. densiflorum* на рост растений капусты сохранялась и в дальнейшем. Рассада, полученная из обработанных биорегуляторами семян, отличалась мощной и хорошо разветвленной корневой системой, благодаря чему лучше укоренилась после высадки в поле. Соотношение между весом корневой системы и надземной части составляло 4:5, что соответствует норме для средних и поздних сортов капусты.

Растения отличались быстрым и интенсивным ростом, сочной зеленой окраской, плотно налегающими друг на друга крупными сидячими листьями, формирующих в дальнейшем компактный кочан. В то же время на контрольном участке, где была высажена рассада, полученная из необработанных семян, встречались ослабленные растения с проявлениями желто-зеленой окраски и признаками высыхания листьев, а в дальнейшем с преобладанием антоциановой окраски листовой розетки.

В результате, во второй фазе созревания капусты на опытных участках преобладали плотные сформировавшиеся кочаны правильной округлой формы, типичной для сорта Шедевр, с привлекательной зеленой окраской, хорошей устойчивостью к растрескиванию, высокой однородностью по форме и размеру, без признаков повреждений вредителями и болезнями (рис. 2).

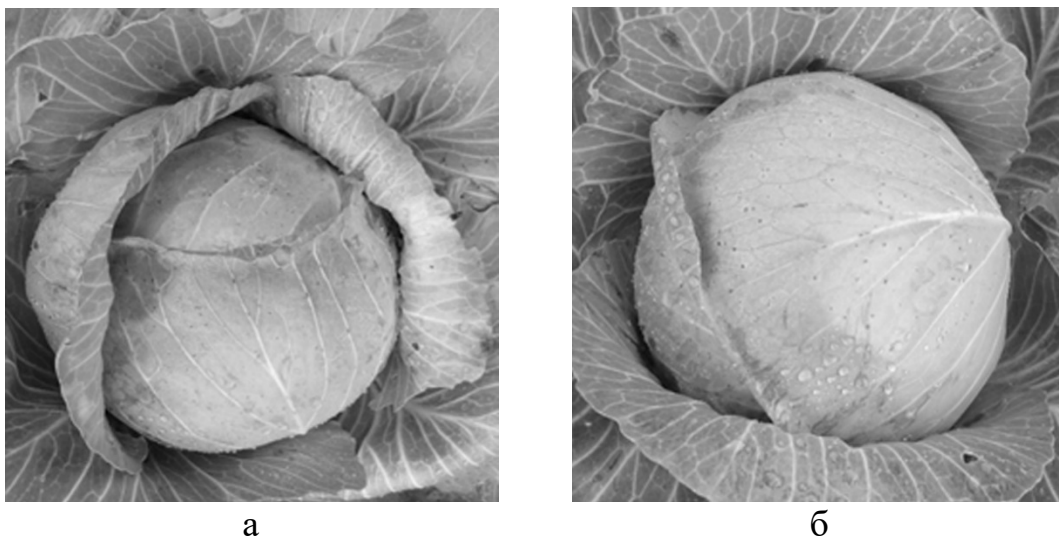


Рис. 2. Влияние суммы вербаскозидов на формирование кочанов капусты белокочанной: а – контроль, б – эксперимент.

Средний вес кочана с опытного участка превышал показатель контрольных растений почти на 1,2 кг, что привело к получению дополнительно с каждого гектара по 14,5 тонн стандартной товарной продукции (таб. 1). Таким образом анализ параметров структуры урожая показал преимущество и целесообразность использования суммы вербаскозидов для предпосевной обработки семян капусты белокочанной.

Таблица 1. Влияние суммы биорегуляторов из *Verbascum densiflorum* на урожайность капусты белокочанной

Вариант	Средний вес кочана		Урожайность				
			общая		товарная		
	кг	% к контролю	т/га	% к контролю	т/га	± к контролю %	т/га
Контроль	1,5		44,3		42,8		
Вербаскозиды	2,7	80,0	59,5	34,3	57,3	33,9	14,5
НСР _{0,95}			2,9		2,4		

Выводы:

1. По влиянию на энергию прорастания и общую всхожесть семян капусты белокочанной в лабораторных условиях был проведен отбор биологически активных веществ растительного происхождения, экстрагированных из некоторых представителей сем. *Scrophulariaceae*.

2. Показано, что предпосевное замачивание семян в 0,01%-ном растворе суммы иридоидных и фенольных соединений из *Verbascum densiflorum* создает наиболее благоприятные условия для роста и развития капусты белокочанной, существенно повышая энергию прорастания, всхожесть семян, стимулируя процессы корнеобразования рассады и ее приживаемость после высадки в открытый грунт.

3. Определена эффективность действия биорегуляторов из *V. densiflorum* на продукционный процесс капусты белокочанной. Обработка семян раствором суммы вербаскозидов обеспечила получение прибавки общей урожайности капусты 15,2 т/га и продукции с высоким товарным качеством – 14,5 тонн с гектара.

4. Результаты выполненных исследований позволяют рекомендовать предпосевную обработку семян 0,01%-м раствором суммы биологически активных веществ из *V. densiflorum* в качестве элемента технологии выращивания капусты.

Список литературы

1. Алексеева К. Л. Биорегуляторы в технологии выращивания и защиты овощных культур // Сборник трудов: НАН Беларуси. Минск, 2008. № 15. С. 96–103.
2. Статистический ежегодник Республики Молдова. 2019 г. 472 с.
3. Ботнар В. Ф. Особенности формирования урожая сортов белокочанной капусты в зависимости от удобрений на обыкновенном черноземе Южного Приднестровья // Автореферат диссертации на соискание кандидата сельскохозяйственных наук, Кишинев, 1985. 32 с.
4. Аутко А. А., Забара Ю. М., Забара Л. Ю. Современные технологии возделывания белокочанной капусты // Картофель и овощи. 2003. № 5. С. 6–7.
5. Галеева Р. Р., Езепчук Л. Н. Влияние регуляторов роста на урожайность и качество капусты белокочанной в разных природных зонах Сибири // Вестник АГАУ, 2011, № 5. С. 9–12.
6. Borovskaia A., Mascenco N., Ivanova R., Spak L. Impact of plants secondary metabolites on cabbage productivity // *Scientific Proceedings Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality*, Nitra, Slovakia, 2019. P. 241–248.
7. Мащенко Н. Е., Боровская А. Д. Применение биорегуляторов природного происхождения для повышения жизнеспособности семян капусты // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 95-річчю сортовипробування в Україні (7 червня 2018 р., м. Київ). Київ. 2018. С. 170–172.

ГИСТО-АНАТОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ОЦЕНКЕ НОВЫХ ГЕНОТИПОВ ТОМАТА, ПОЛУЧЕННЫХ *IN VITRO*

Т. Калалб, Ю. Н. Сыромятников, Е. Д. Котенко
*Институт генетики, физиологии и защиты растений,
Кишинев, Республика Молдова*

HISTO-ANATOMICAL ANALYSIS IN THE EVALUATION OF THE NEW TOMATO GENOTYPES OBTAINED *IN VITRO*

Calalb Tatiana, PhD, Siromeatnicov Iulia, dr., Cotenco Eugenia, dr.
*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,
Chisinau, Republic of Moldova*

Through distant hybridizations, biotechnological methods have created a collection of tomatoes with valuable quantitative characters for breeding. The variety is characterized by maximum photosynthetic activity, compared to the other genotypes analyzed. The structural features of these genotypes (increased number of secretory and tector hairs, presence of stomata and degree of octiole opening, especially on the adaxial epidermis of the leaf, thickness of the palisadic, spongy mesophile and the correlation between them) determine the histo-anatomical organization of the leaf with tolerance. Drought and have a significant contribution in establishing increased photosynthetic activity in the mentioned genotypes. Based on the data obtained, new sources with increased productivity and resistance were identified.

Введение

Микротехника современных биотехнологий *in vitro* открывает новые возможности для получения новых генотипов с целью улучшения существующего генофонда томатов. Гисто-анатомическое исследование новых генотипов является составной частью биологического комплекса исследований с целью выявления адаптационного потенциала к действию стрессоров для формирования и определения продуктивности. Результаты последних исследований [Monje, Varan, 2002] показывают необходимость интеграции гисто-анатомических параметров в определение устойчивости и засухоустойчивости новых генотипов томатов. Данные о генетической структурной изменчивости практически отсутствуют, и хотя структуры относительно стабильны в течение многих лет и генетически регулируются, количественные структурные изменения к воздействию стрессоров, включая

засуху, очень информативны, особенно у томатов, поскольку они представляют классические биологические системы для выявления генетических аспектов и адаптивный потенциал к абиотическим стрессорам [Nakata, McConn, 2003].

Материалы и методы

Оценка гисто-анатомических показателей и показателей продуктивности проводилась на новых генотипах томатов: Lpplh-50 и Lflp-47 – контрольный сорт Эльвира; Lpn-87 и Lspn-83 – контрольный сорт Peto 86, отобранные на основе скрининга биометрических характеристик для 30 новых генотипов, созданных в лаборатории «Генетика устойчивости растений» [Калалб, Сыромятников, Добында, 2012; Сыромятников, 2012]. Гисто-анатомическое исследование листового аппарата растений проводили классическими методами на микроскопических срезах, с нанесением цито- и гистохимическими реактивами, в микроскопе «Micros» (Австрия), фотографированы с помощью микрокамеры программного обеспечения, подключенного к компьютеру. Структурные показатели были статистически обработаны программой STATGRAPHICS Plus.

Результаты и обсуждения

Гисто-анатомическое исследование листового аппарата было выполнено на 4 новых генотипах томатов: Lpplh-50 и Lflp-47, а также в качестве контрольного сорта Эльвира; Lpn-87 и Lspn-83 и контрольный сорт Peto 86, отобранные на основе скрининга биоморфометрических параметров из 30 созданных генотипов (формы, гибриды, линии) [Калалб, Сыромятников, 2011; Калалб, Сыромятников, Добында, 2012]. Сравнительный гисто-анатомический анализ проводился по комплексу показателей: толщина эпидермиса, кутикулы, мезофилла, палисадной и губчатой ткани, а также корреляция между ними; количество устьиц, кроющих и железистых волосков на единицу площади; наличие или отсутствие мешков с песком оксалата кальция и их способ распределения в мезофилле.

Поверхностные структуры листьев, такие как кроющие и железистые волоски, представляют интерес для определения адаптационного потенциала (рис. 1–5). Кроющие волоски многоклеточные, состоящие из 2-клеток, [Калалб, Сыромятников, 2011], а основание окружено 3–5 округлыми клетками с относительно большими размерами, чем клетки эпидермиса, и слегка приподнятыми над эпидермисом (рис. 1–5).

Железистые волоски состоят из одно- или многоклеточной (рис. 3А, В, С) железы и относительно короткой, одноклеточной ножки, расположенной на округлой базальной клетке с большим диаметром и приподнятой над эпидермисом.

Во всех проанализированных генотипах количество длинных и тонких кроющих волосков преобладает на нижнем эпидермисе листа (табл. 1, рис. 1–5). Для сравнения, генотипы Lpn-87 (рис. 3), Lpplh-50 (рис. 1, 2) и Lflp-47 (рис. 1–3) развивают более высокую плотность волосков, которые длиннее, чем у контрольных и другие новые генотипы (табл. 1). Опушение является важным показателем в обеспечении функционирования механизмов устойчивости томатов в условиях засухи, поскольку оно образует плотный барьер, который предотвращает и замедляет испарение воды. Специфическими структурами листа являются железистые волоски с одно-, двух- и многоклеточными железами (рис. 2, 3), которые в результате метаболической деятельности вырабатывают коричневое содержимое (рис. 2, 3А, В) липидной природы, определяемое по его окраске в красный цвет при нанесении реагента Судан III. При созревании железы их содержимое выделяется наружу (рис. 3D), образуя эпикутикулярный слой на поверхности листьев, который способствует уменьшению испарения воды и защите растений от перегрева.

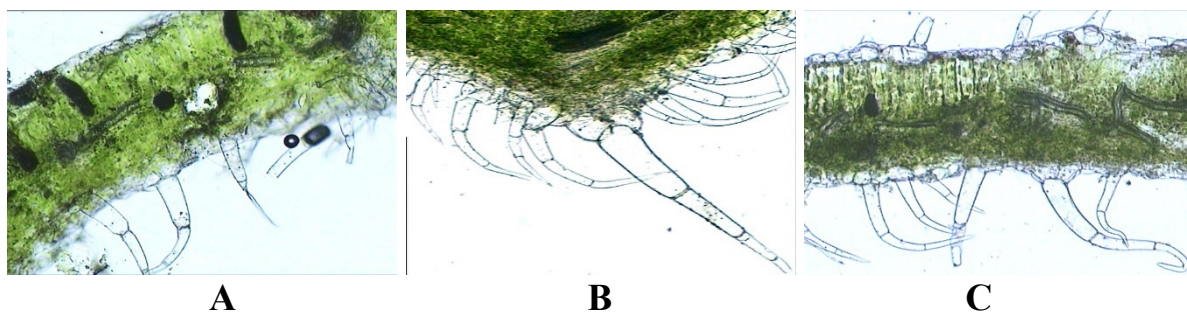


Рис. 1. Поперечный срез листовой пластинки листьев у линии томатов:
 А – Lpplh-50; В – Lpn-87; С – Lflp-47

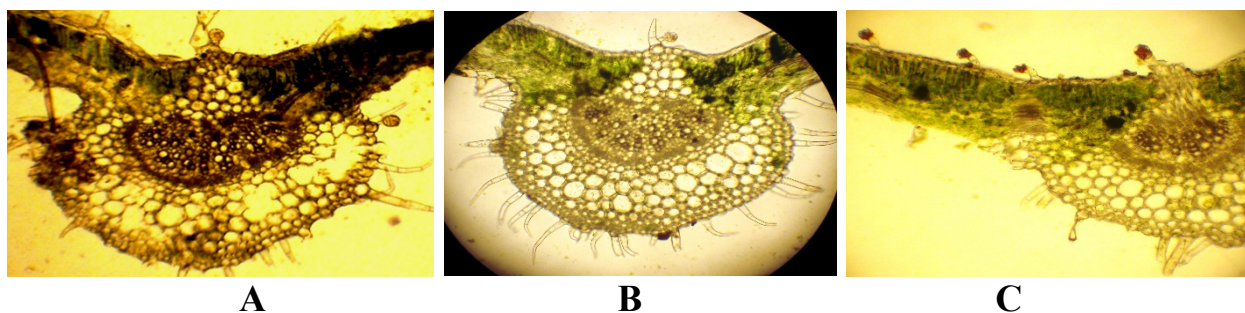


Рис. 2. Поперечный срез главной жилки листовой пластинки листьев у линии томатов:
 А – Lpplh-50; В – Lpn-87; С – Lflp-47.

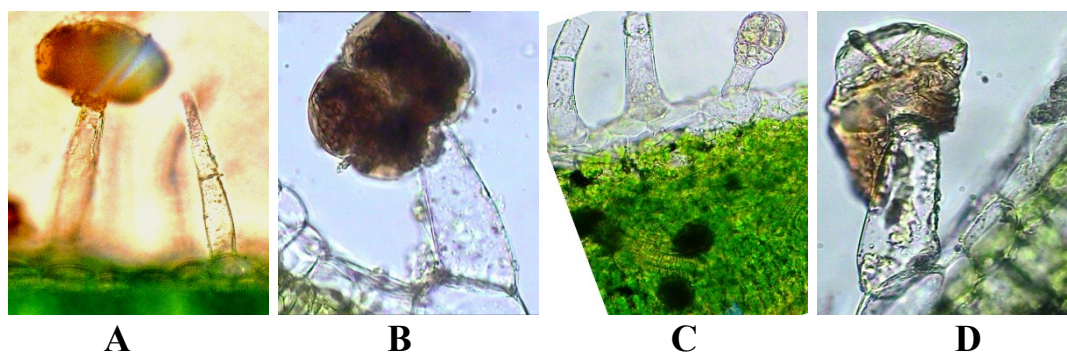


Рис. 3. Типы волосков на верхнем эпидермисе листьев у линии томатов:
 А – Lflp-47; В – Lpn-87; С, D – Lpplh-50.

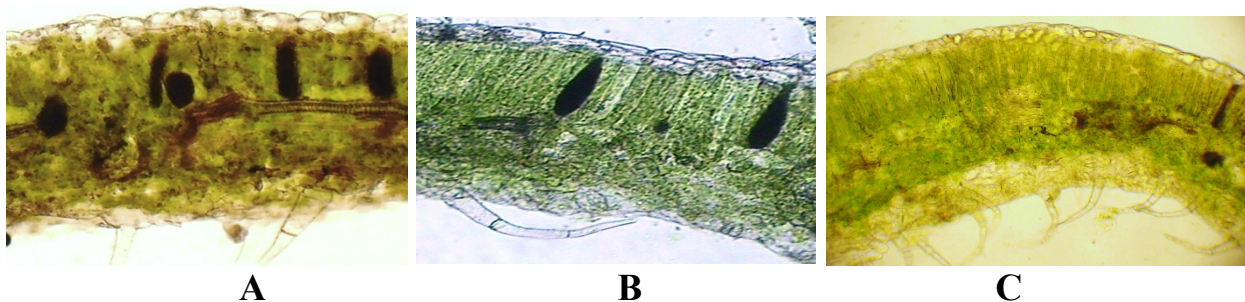


Рис. 4. Поперечный срез листовой пластинки листьев у линии томатов
 А – Lpplh-50; В – Lflp-47; С – Lpn-87.

Таким образом, накопления липидов участвуют и играют важную роль в определении устойчивости растений к засухе [Fobes F., Mudd B., Marsden M.

1985]. Новые линии томатов Lflp-47, Lpplh-50 и Lpn-87 характеризуются наибольшим количеством железистых волосков (табл. 1), ответственных за присутствие и толщина эпикутикулярных липидных скоплений могут быть определены как генотипы с хорошим структурным адаптационным потенциалом к действию стрессовых факторов, в том числе и засухи. Более высокая частота железистых волосков на верхнем эпидермисе листа у всех генотипов (табл. 1) указывает на адаптацию листьев к неблагоприятным факторам, поскольку эта сторона листа постоянно подвергается действию солнца, тем самым, помогает защитить живые клетки мезофилла от перегрева, снижая скорость обезвоживания в условиях засухи.

Два новых анализируемых генотипа Lflp-47 и Lpplh-50, отмеченные устойчивостью к засухе, полученные на основе спонтанных видов *L. peruvianum* (L.) Mill и *L. hirsutum* L., отличаются выраженными липидными эпикутикулярными скоплениями [Fobes, Mudd, Marsden, 1985]. К сожалению, пока не установлено, каков генетический контроль в биосинтезе эпикутикулярных липидов в сегрегированных формах, и его продолжают обсуждать только на уровне гипотез, но тем не менее их роль в определении устойчивости растений к стрессу однозначна. Для листьев томата характерен аномоцитный тип устьиц, число которых преобладает на нижнем эпидермисе по сравнению с верхним. В условиях сильной засухи степень раскрытия устьиц уменьшается на обоих эпидермисах, но более выраженное на верхнем. В условиях стресса и изменении количества устьиц на верхнем эпидермисе выражена больше, чем на нижнем, что является важным механизмом регуляции устойчивости к засухе, продемонстрированным и в других экспериментах [Sam, Jerez, Dellamigo, Ruiz-Sanchez, 2000].

Мезофилл листа томатов является дорсо-вентральным типом (рис. 1, 2, 4), а толщина палисадного мезофилла варьирует в зависимости от генотипа, причем наибольшие значения для линий Lpplh-50 и Lflp-47 (табл. 1). Хотя в этих

генотипах нет выраженной разницы в толщине губчатого мезофилла по сравнению с контролем, коэффициент корреляции между палисадным и губчатым мезофиллом регистрирует максимальные значения в генотипах Lpplh-50 (0,91–0,92) и Lflp-47 (0,86–0,89), по сравнению с контролем (0,75–0,77). Основная роль в фотосинтетической активности принадлежит листу, поэтому увеличение толщины палисадного мезофилла, состоящего из клеток с большим количеством хлоропластов и маленьких межклеточных пространств, способствует эффективности фотосинтеза. Значение корреляции между палисадным и губчатым мезофиллом является значимым показателем при определении фотосинтетической способности листьев: чем выше значение этого показателя, тем выше фотосинтетическая активность [KulKarn, Borsel, Chaphalkar, 2008]. Анализ показывает, что генотипы Lpplh-50 и Lflp-47 характеризуются максимальной фотосинтетической активностью по сравнению с другими проанализированными генотипами. Структурные особенности этих генотипов (увеличение количества секреторных и кроющих волосков, наличие устьиц и степень их раскрытия, особенно на верхнем эпидермисе листа, толщина палисадного и губчатого мезофилла, и их корреляция определяют гистоанатомическую организацию листа с толерантностью к засухи и вносят значительный вклад в установление повышенной фотосинтетической активности в отмеченных генотипах.

Для всех новых анализируемых генотипов томатов характерно наличие мешков с песком оксалата кальция, но их частота и способ распределения в мезофилле листа варьируют от генотипа к генотипу: в Lflp-47 и Lpplh-50 отмечается повышенная частота сферических и овально-удлиненных мешков, в основном в палисадной ткани (рис. 4А, В), а у линии Lpn-87, Lspn-83 и контроля имеются только сферической формы и расположены на границе палисадной и губчатой ткани (рис. 4D). Известно, что морфологическая экспрессия кристаллов оксалата кальция генетически регулируется метаболизмом щавелевой кислоты и

кальция в клетке [Franceschi V., 1989; Franceschi V., Nakata P., 2004] и коррелирует с путями их образования и процессами биополимеризации [Prychid C, Jabaily R, Rudall P., 2008]. Отложение кристаллов оксалата кальция инициируется на белковой матрице [Monje P., Baran E., 2002], а их биосинтез ускоряется в неблагоприятных условиях [Nakata P., McConn M., 2003]. Долгое время считалось, что независимо от способа и пути образования этих кристаллов в различных морфологических скоплениях они играют биологическую роль в защите от травоядных животных и инсектицидов. В последнее время, многие авторы [Prychid, Jabaily, Rudall, 2009] рассматривают образование кристаллов оксалата кальция только в условиях повышенной солености почвы, засухи и дефицита питательных веществ. Таким образом, обильное развитие песочных мешков оксалата кальция их преимущественное распределение в палисадной ткани по генотипам Lflp-47 и Lflp-50 является адаптивной защитной реакцией к условиям засухи.

Выводы:

1. Новые генотипы томатов Lflp-47 и Lpplh-50 характеризуются высокой устойчивостью, обусловленной взаимодополняющим и синергетическим функционированием внешних (железистых и кроющих волосков) и внутренних структур (корреляция толщины палисадной и губчатой ткани, частота и способ распределения мешков с песком оксалата кальция), которые составляют адаптационный гисто-анатомический компенсаторный комплекс листового аппарата к действию внешних факторов (дефицит влаги, повышение температуры почвы и воздуха в летний период), составляя одну из стратегий адаптации и сопротивления листового аппарата к условиям окружающей среды.

2. Показатели продуктивности, указанных генотипов, коррелируют с частотой железистых волосков, поверхностью листового аппарата растения и локализацией мешков с песком оксалата кальция.

Библиографический список

1. Калалб Т., Сыромятников Ю. Анатомические критерии листового аппарата при оценке адаптивности новых генотипов томатов. Конф. «Генетика и физиология устойчивости растений». Кишинев, 2011. С. 20.
2. Fobes F., Mudd B., Marsden M. Epicuticular Lipid Accumulation on the Leaves of *L. pennellii* (Corr.) D'Arcy and *L. esculentum* Mill. *Plant Physiol.* (1985) 77, p. 567–570.
3. Franceschi V. Calcium oxalate formation is a rapid and reversible process in *Lemna minor* L. *Protoplasma*, 1989, Vol. 148, Nr. 2–3, p. 130–137.
4. Franceschi V., Nakata P. Calcium oxalate in plants: formation and function. In: *Annum Rev. Plant Biol.*, 2005, vol. 56, p. 41–71.
5. KulKarni M., Borsel T., Chaphalkar S. Mining Anatomical Traits: A Novel Modelling Approach for Increased Water Use Efficiency under Drought Conditions in Plants. *Czech J. Genet. Plant Breed*, 2008, vol. 44, nr. 1, p. 11–21.
6. Monje P., Baran E. Characterization of Calcium Oxalates Generated as Biominerals in Cacti. In: *Plant Physiol*, 2002, vol. 128, p. 707–713.
7. Moyle L. C. Ecological and evolutionary genomics in the wild tomatoes (*Solanum* Sect. *Lycopersicon*). 2008, *Evolution* 62, p. 2995–3013.
8. Nakata P., McConn M. Calcium oxalate crystal formation is not essential for growth of *Medicago truncatula*. In: *Plant Physiology and Biochemistry*, 2003, vol. 41, nr. 1, p. 325–329.
9. Prychid C., Jabaily R., Rudall P. Cellular Ultrastructure and Crystal Development in *Amorphophallus* (*Araceae*). In: *Annals of Botany*, 2008, vol. 101, nr. 7, p. 983–995.
10. Sam O., Jerez E., Dellamigo J., Ruiz-Sanchez M. Water stress induced changes in anatomy of tomato leaf epidermis. *Biologia Plantarum*, 2000, vol. 43(2), p. 275–277.
11. Сыромятников Ю. Оценка продуктивности гибридных меж- и внутривидовых комбинаций томатов и их родительских форм, полученных *in vitro*. Науч. конф. «Генетика и физиология устойчивости растений», Кишинев, 2011. Р. 56.
12. Калалб Т., Сыромятников Ю., Добында Е. Микроскопические структурные признаки устойчивости новых генотипов томата. Тезисы Межд. науч. конф. «Селекция и генетика с/х растений: традиции и перспективы», Одесса, 2012. С. 45–56.
13. Сыромятников Ю. Н. Изучение комбинационной способности у новых созданных межвидовых линий томатов. В: Селекция и генетика с/х растений: традиции и перспективы. Тезисы Межд. науч. конф., Одесса, 2012. Р. 193–194.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЛЕГУМАИНОВ, ASN-СПЕЦИФИЧНЫХ ПРОТЕИНАЗ СЕМЯН

И. А. Каховская, А. С. Рудакова, А. Д. Шутов

Государственный университет Молдовы, Кишинев, Молдова

Описаны филогенетические взаимоотношения между легумаинами прокариот, древних эукариот, растений и животных. Прослежен эволюционный путь легумаинов растений, начинающийся от ряда древних эукариот и далее соответствующий последовательным этапам формирования растительных организмов – зеленые водоросли классов Chlorophyta и затем Charophyta, мхи и семенные растения.

ORIGIN AND EVOLUTION OF LEGUMAINS, ASN-SPECIFIC SEED PROTEINASES

I. A. Kakhovskaya, A. S. Rudakova, A. D. Shutov

State University of Moldova, Chişinău, Moldova

Cysteine proteinases of unique Asn/Asp specificity (legumains) were first detected and studied as enzymes catalyzing proteolytic processing of seed storage globulins and their further degradation during seed germination. For the moment, it is known that legumains are characteristic both of plants and of a wide range of animals, several ancient eukaryotes as well as of bacteria and archaea. Because of their narrow specificity, legumains catalyze a wide range of processes related to plant and animal vital functions. Eukaryote legumains are synthesized as inactive precursors containing conserved N- and C-terminal domains and a rather variable activation peptide in between. Activation of plant seed and mammalian legumains occurs due to autocatalytic cleavage inside the activation peptide followed by detachment of the C-terminal domain that blocks the active site amino acids positioned inside the N-terminal domain. In contrast to eukaryote legumains, prokaryote legumains lack the C-terminal domain. For the moment, a wide range of amino acid sequences of plant and animal legumains as well as legumains from ancient eukaryotes and prokaryotes became available. Therefore, a detail analysis of successive evolutionary stages of plant legumains was conducted in this investigation. When amino sequences of legumains from *Arabidopsis thaliana* and *Homo sapience* were used as queries, a wide collection of seed legumains and their precursors from spore plants, animal legumains as well as legumains from ancient eukaryotes and prokaryotes was collected. To follow evolutionary pathway of plant and animal legumains full-length amino acid sequence of legumains from *Trichomonas* species estimated as most ancient organism among eukaryotes were used as roots. Three basic clusters were detected in respective evolutionary tree: the ancient group of Alveolata and Stramenopiles legumains, Plant and Metazoa legumains. The same clusters were observed when the sequence region analyzed was restricted to the N-terminal domains and prokaryote legumains were used as roots. Legumain sequences within plant cluster strongly follow the evolutionary pathway of species: green algae, mosses, seed plants. Exon/intron structures of legumain genes from land plants are almost identical and close to that of *Klebsormidium nitens* legumain (green alga, Charophyta). In contrast, position of introns in Chlorophyta legumain genes is completely different. Additionally, long variable inserts inside the C-terminal domain are specifically characteristic of amino acid sequences only from Chlorophyta legumain species. These observations both are in line with the plant tree of life, estimated Chlorophyta as most ancient green algae.

Цистеиновые протеиназы с уникальной Asn/Asp специфичностью (легумаины) впервые были обнаружены и исследованы как ферменты, катализирующие протеолитический процессинг запасных глобулинов семян и последующую их деградацию в процессе прорастания (Müntz et al., 2002). В настоящее время установлено, что легумаины характерны как для растений, так и для широкого круга животных (Dall, Brandstetter, 2016), в том числе для ряда древних представителей эукариот, а также бактерий и археобактерий (Shutov et al., 2012). В связи с их узкой субстратной специфичностью, легумаины катализируют многочисленные процессы, связанные с жизнедеятельностью растений и животных (Dall, Brandstetter, 2016).

Легумаины эукариот синтезируются как неактивные предшественники, образованные консервативными N- и C-концевыми доменами и относительно вариабельным активационным пептидом между ними. Активация легумаинов семенных растений и млекопитающих происходит в результате автокаталитического расщепления в области активационного пептида и удаления C-концевого домена, блокирующего аминокислоты активного центра в N-концевом домене (Zauner et al., 2018; Zhao et al., 2014). В отличие от легумаинов эукариот, легумаины бактерий и археобактерий не содержат C-концевого домена (Shutov et al., 2012).

В настоящее время стали доступными многочисленные аминокислотные последовательности легумаинов растений и животных, ряда древних представителей эукариот, а также прокариот. В связи с этим в настоящей работе проведен детальный анализ последовательных этапов эволюции легумаинов растений, а также некоторых животных.

Материалы и методы. Эволюционный анализ легумаинов проводили с использованием программы BLAST (<http://www.ncbi.nih.gov/>) для поиска аминокислотных последовательностей легумаинов, гомологичных легумаинам семян и млекопитающих, с известной структурой (Zauner et al., 2018; Zhao et al.,

2014); программы TREECON (Van de Peer, De Wachter, 1994) для эволюционного анализа аминокислотных последовательностей легумайнов.

Результаты исследования и их обсуждение. При использовании в качестве шаблонов аминокислотных последовательностей N-концевых доменов легумайнов *Arabidopsis thaliana* и *Homo sapiens* обнаружены последовательности легумайнов семян, их предшественников из споровых растений, а также древних эукариот и прокариот. Отдельную ветвь образуют легумайны животных, представленных на рис. 1 легумайном *H. sapiens*.

Полученные результаты, в основном, согласуются с ранее опубликованным эволюционным деревом, описывающим филогенетические взаимоотношения между легумайнами эукариот и бактерий (Shutov et al., 2012). В обоих случаях последовательности легумайнов *Trichomonas* (Parabasalia) как древнейшего представителя эукариот (Keeling, Palmer, 2000), являются корневыми по отношению ко всем остальным легумайнам растений и животных. Следовательно, полные аминокислотные последовательности легумайнов *Trichomonas* могут быть использованы в качестве корневых для детального эволюционного анализа полных аминокислотных последовательностей легумайнов растений, а также животных.

При использовании в качестве корневых полных аминокислотных последовательностей легумайнов *Trichomonas* полученное эволюционное дерево содержит три основных кластера (рис. 2): группа древних (Alveolata и Stramenopiles) легумайнов; легумайны растений и животных. Аминокислотные последовательности в пределах кластера растительных легумайнов строго следуют филогении видов: зеленые водоросли, мхи, голосеменные, двудольные и однодольные.

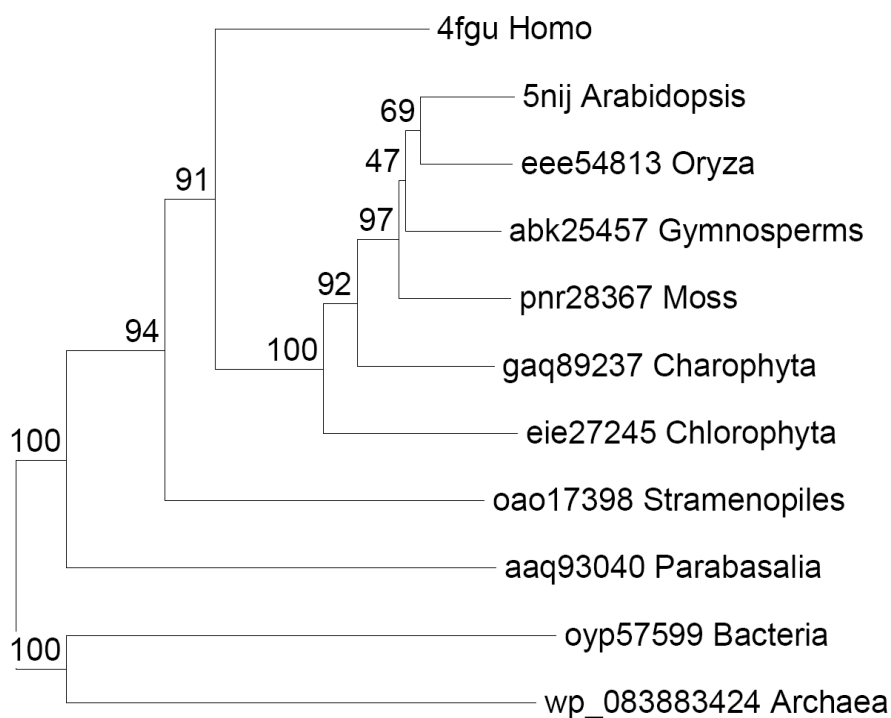


Рис. 1. Филогенетические взаимоотношения между легумаинами прокариот, древних эукариот, растений и животных. Области последовательностей, использованные для анализа, соответствуют N-концевым доменам легумаинов эукариот (267 позиций множественного элайнмента). Цифры над ветвями отражают статистическую поддержку кластеров (% из 1000 репликаций). В качестве корневых использованы последовательности легумаинов прокариот.

Легумаины наземных растений и зеленой водоросли *Klebsormidium nitens* (Charophyta) близки на уровне экзон-интронной структуры генов: пять из восьми присутствующих в каждом из них интронов совпадают по положению и фазе. Напротив, позиция интронов в генах легумаинов зеленых водорослей Chlorophyta (*Chlorella variabilis* и *Coccomyxa subellipsoidea*) совершенно иная. Кроме того, только для последних характерно присутствие в С-концевом домене протяженных вариабельных вставок. Оба этих наблюдения согласуются с результатами эволюционного анализа растений, согласно которому Chlorophyta являются наиболее древними зелеными водорослями (Palmer et al., 2004).

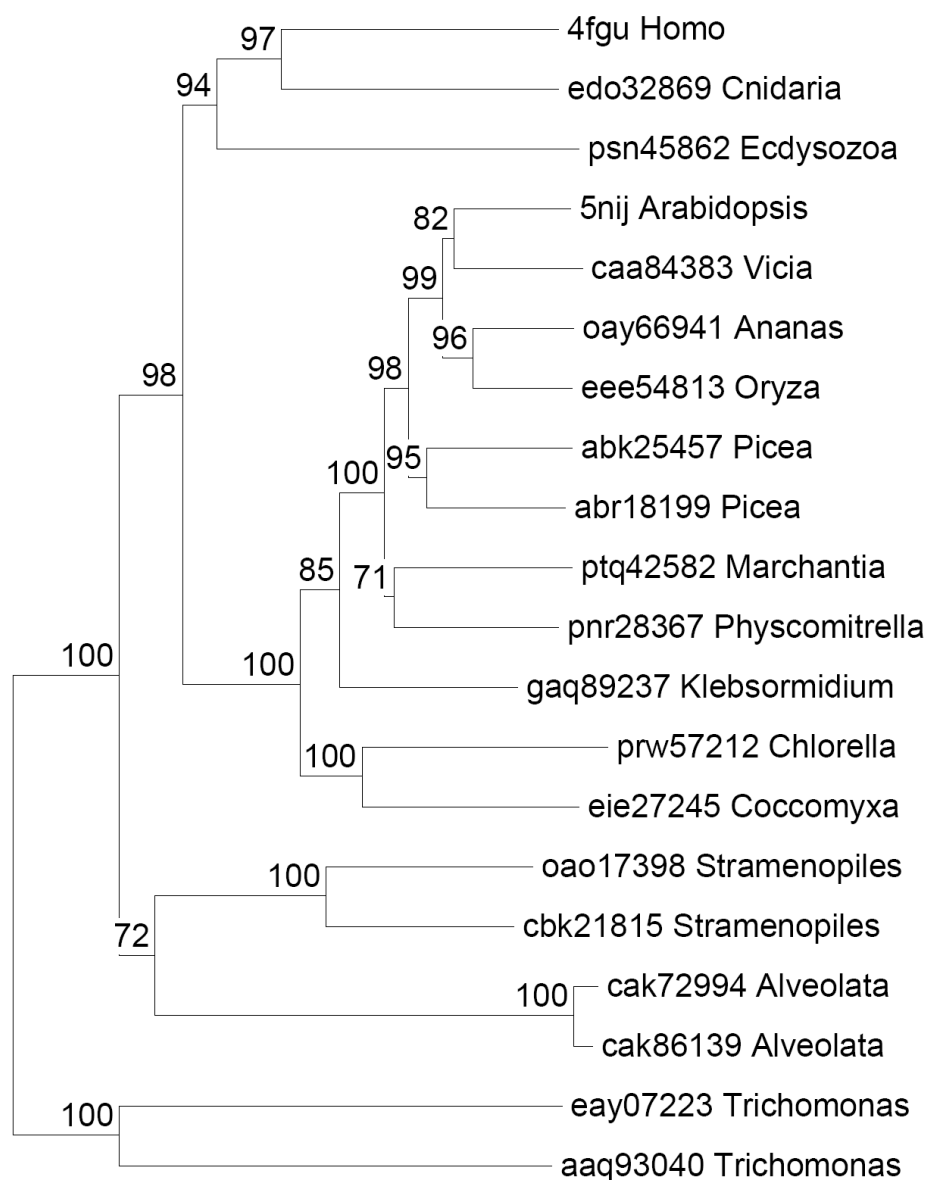


Рис. 2. Последовательные этапы эволюции легумайнов эукариот. Для анализа использованы полные аминокислотные последовательности легумайнов эукариот (477 позиций множественного элайнмента). Цифры над ветвями отражают статистическую поддержку кластеров (% из 1000 репликаций). В качестве корневых использованы последовательности легумайнов *Trichomonas*.

В целом, эволюционный путь легумайнов эукариот, основанный на анализе их аминокислотных последовательностей (рис. 2), согласуется с экзон-интронной структурой их генов. Подробно растениям, большинство генов легумайнов животных содержат интроны, совпадающие по положению и фазе.

Список литературы

Dall E., Brandstetter H. Structure and function of legumain in health and disease. *Biochimie*, 122 (2016), p. 126–150.

Keeling P.J., Palmer J.D. Phylogeny: Parabasalian flagellates are ancient eukaryotes. *Nature*. 405 (2000), p. 635–637.

Müntz K., Blattner F.R., Shutov A.D. Legumains – a family of asparagine-specific cysteine endopeptidases involved in propolypeptide processing and protein breakdown in plants. *J. Plant Physiol.*, 159 (2002), p. 1287–1293.

Palmer J.D., Soltis D.E., Chase M.W. The plant tree of life: an overview and some points of view. *Amer. J. Bot.*, 91(2004), p. 1437–1445.

Van de Peer Y., De Wachter R. TREECON for Windows: a software package for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment. *Comput. Appl. Biosci.* 10 (1994), p. 569–570.

Shutov A.D., Blattner F.R., Kakhovskaya I.A., Müntz K. New aspects of the molecular evolution of legumains, Asn-specific cysteine proteinases. *J. Plant Physiol.*, 169 (2012), p. 319–321.

Zauner F.B., Dall E., Regl C., Gressi L., Huber C.G., Cabrette C., Brandstetter H. Crystal structure of plant legumain reveals a unique two-chain state with pH-dependent activity regulation. *Plant Cell*, 30 (2018), p. 686–699.

Zhao L., Hua T., Crowley C., Ru H., Ni X., Shaw N., Jiao L., Ding W., Qu L., Hung L.W., Huang W., Liu L., Ye K., Ouyang S., Cheng G., Liu Z.J. Structural analysis of asparaginyl endopeptidase reveals the activation mechanism and the reversible intermediate maturation stage. *Cell Research*, 24 (2014), p. 344–358.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИОННЫМ ПРОЦЕССОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В. М. Косолапов, И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова, Е. П. Яковлева
*ФГБНУ Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии
имени В.Р. Вильямса, г. Лобня, Московская обл.*

Повышение продуктивности, качества и устойчивости сельскохозяйственных культур является важнейшей задачей агропромышленного комплекса, научного обеспечения сохранения плодородия почв и продуктивного долголетия наших земель. В управлении продукционным процессом сельскохозяйственных культур важнейшую роль играет кормопроизводство.

MANAGEMENT OF CROP PRODUCTION

V. M. Kosolapov, I. A. Trofimov, L. S. Trofimova, E. P. Yakovleva
Federal Williams Research Center of forage Production and Agroecology
Increasing productivity, quality and sustainability of crops is the most important task of the agro-industrial complex, scientific provision of soil fertility, preservation and productive longevity of our lands. Fodder production plays a crucial role in crop management. Fodder production is a necessary means of developing balanced, productive and sustainable agriculture. Fodder production is an essential tool for balancing agricultural production with nature, managing agrolandshafts, designing agrolandshafts resistant to climate impacts, adverse weather conditions and negative processes. The importance and functions of forage grasslands in biosphere, agrolandshafts and agriculture are very great. Grasslands and perennial herbs provide biomass accumulation and accumulation in biosphere and agrolandshafts, carbon accumulation and humus accumulation, diversity and biodiversity. They have great resistance to the external environment, climate change and weather. They combine economics, ecology and the aesthetics of agriculture. All these characteristics of fodder production are also essential components of environmental management. Herbal ecosystems (meadows and perennial herbs) provide renewable solar energy to agricultural land, agrolandshafts, cereals and other crops, animals and humans. They ensure productivity and sustainability of agricultural land, preservation and reproduction of soil fertility. The mission Federal Williams Research Center of forage Production and Agroecology consists in scientific support for the development of fodder production, agroecology and environmental management in agriculture. It is aimed at ensuring the country's food and environmental security, and implementing links between fundamental science, education and practice. It consists in the creation and seed production of new varieties of forage crops with useful properties, productive and resistant to diseases, pests and negative environmental factors. It consists in the development of advanced technological systems and techniques for forage production, procurement and use of feed, ensuring economic efficiency and environmental safety of their use, improving the quality of livestock products. It also consists in accelerating the spread of agricultural science achievements in the process of training scientific personnel.

Повышение продуктивности, качества и устойчивости сельскохозяйственных культур необходимо для обеспечения продовольственной и экологической безопасности России. Устойчивое обеспечение населения страны качественными продуктами питания и сельскохозяйственным сырьем отечественного производства в достаточном объеме было и остается важнейшей задачей агропромышленного комплекса.

Миссия ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» – научное обеспечение развития кормопроизводства, агроэкологии и рационального природопользования в сельском хозяйстве, обеспечение продовольственной и экологической безопасности страны, осуществление связей между фундаментальной наукой, образованием и практикой, создание новых сортов кормовых культур с полезными свойствами, разработка прогрессивных технологических систем и приёмов кормопроизводства, заготовки и использования кормов, обеспечивающих экономическую эффективность и экологическую безопасность их применения, повышение качества животноводческой продукции, а также ускорение распространения достижений аграрной науки в процессе подготовки научных кадров (Всероссийский научно-исследовательский институт кормов ..., 2014; Кормопроизводство в сельском хозяйстве, экологии и рациональном природопользовании ..., 2014).

Основа системы продовольственной и экологической безопасности России лежит в сбалансированном развитии сельского хозяйства и природы, отечественного растениеводства, животноводства, земледелия, структуры посевных площадей, севооборотов и агроландшафтов. Научное обеспечение продовольственной и экологической безопасности должно базироваться на максимальном использовании природно-климатических ресурсов, географических, биологических и экологических факторов (Трофимов, Трофимова, Яковлева, 2010, 2011; Словарь терминов по кормопроизводству, 2010; Косолапова, 2010; Косолапов, Трофимов, Трофимова, 2013; Справочник по

кормопроизводству, 2014; Трофимова, Кулаков, 2003; Кутузова, Трофимова, Олигер, Орленкова, 2000; Кутузова, Трофимова, Проворная, 2015).

В настоящее время большинство факторов интенсификации растениеводства (чрезмерное преобладание экономически привлекательных культур в структуре посевных площадей и севооборотах, сокращение биоразнообразия, пестициды, азотные удобрения, орошение и др.), благоприятствуя развитию сорняков и вредных организмов, снижают устойчивость растений к стрессорам (Жученко, 2012; Кормопроизводство в сельском хозяйстве, экологии и рациональном природопользовании ..., 2014).

В то время как в странах ЕС планомерно реализуются меры по сокращению использования пестицидов, в России масштабы применения пестицидов в защите растений возрастают (Артохин, Игнатова, 2015).

Важнейшее значение в сельском хозяйстве, рациональном природопользовании и экологии имеет кормопроизводство – самая масштабная, многофункциональная и системообразующая отрасль сельского хозяйства, соединяющая и связывающая его в единое целое. Оно определяет состояние животноводства и оказывает существенное влияние на решение ключевых проблем дальнейшего развития всей отрасли растениеводства, земледелия, рационального природопользования, повышения устойчивости агроэкосистем и агроландшафтов к воздействию климата и негативных процессов, сохранения ценных сельскохозяйственных угодий и воспроизводства плодородия почв, улучшения экологического состояния территории и охраны окружающей среды.

Кормовые агроэкосистемы (природные и сеяные пастбища и сенокосы, многолетние травы и однолетние кормовые культуры на пашне играют продукционную, а также не менее значимую почвоулучшающую, средообразующую роль. Они обеспечивают следующие экосистемные и производственные услуги: производят разнообразные корма для животных; повышают устойчивость агроэкосистем к непредсказуемым изменениям климата

и воздействию негативных процессов; повышают плодородие почв, обогащая их биологическим азотом, повышая содержание гумуса, улучшая структуру; снижают кислотность, предотвращают эрозию почв; нормализуют водный, пищевой и воздушный режимы агроэкосистем; улучшают фитосанитарную обстановку, оздоравливают окружающую среду; играют эстетическую и экологическую роли (Словарь терминов по кормопроизводству, 2010; Косолапов, Трофимов, Трофимова, 2013; Кормопроизводство в сельском хозяйстве, экологии и рациональном природопользовании ..., 2014; Справочник по кормопроизводству ..., 2014).

Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса, до 2018г – Всероссийский (Всесоюзный) научно-исследовательский институт кормов имени В.Р. Вильямса является главным, консолидирующим, координирующим научно-методическим и исследовательским учреждением по кормопроизводству и агроэкологии в России. Наша главная цель – разработка теоретических и методологических основ кормопроизводства, концепций, программ, методологий, методик, сортов, технологий, стандартов.

Кормопроизводство играет важнейшую, решающую роль в управлении сельскохозяйственными землями России, в обеспечении их продуктивности, устойчивости и рентабельности. От уровня научно-технического прогресса кормопроизводства зависит многое в дальнейшем развитии сельского хозяйства, продовольственной и экологической безопасности страны.

Кормопроизводство – важнейший инструмент, позволяющий сбалансировать сельскохозяйственное производство с природой, осуществлять управление агроландшафтами, конструирование агроландшафтов, устойчивых к воздействиям климата, неблагоприятных погодных условий и негативных процессов (Рекомендации по созданию продуктивных и устойчивых агроландшафтов ..., 2003; Трофимов, Косолапов, Трофимова, Яковлева, 2015).

Кормопроизводство – это необходимое средство развития сбалансированного, продуктивного и устойчивого сельского хозяйства.

Травяные экосистемы (луга и культура многолетних трав на пашне) фактически «кормят», обеспечивает возобновляемой солнечной энергией сельскохозяйственные земли, агроландшафты, зерновые и другие культуры, животных и человека. Они обеспечивают продуктивность и устойчивость сельскохозяйственных земель, сохранение и воспроизводство плодородия почв.

Значение и функции природных кормовых угодий в биосфере, агроландшафтах, сельском хозяйстве очень велики. Луга и многолетние травы обеспечивают аккумуляцию и накопление биомассы в биосфере и агроландшафтах, накопление углерода и накопление гумуса, многообразие и биоразнообразие. Они обладают большой устойчивостью к внешней среде, изменению климата и погоды. Они соединяют в себе экономику, экологию и эстетику сельского хозяйства.

Все эти особенности кормопроизводства являются также необходимыми составляющими рационального природопользования.

В целях обеспечения продовольственной и экологической безопасности страны научное обеспечение кормопроизводства должно стать стратегическим направлением в развитии сельского хозяйства и обеспечить корма – животным, плодородие – почвам, устойчивость и продуктивное долголетие – сельскохозяйственным землям, агроландшафтам.

Библиографический список

1. Артохин К. С., Игнатова П. К. О некоторых тенденциях в развитии защиты растений // Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов. Краснодар, 2015. С. 14–17.
2. Всероссийский научно-исследовательский институт кормов имени В.Р. Вильямса на службе российской науке и практике / Под ред. В. М. Косолапова, И. А. Трофимова. М.: Россельхозакадемия, 2014. 1031 с.
3. Жученко А. А. Основы адаптивно-интегрированной системы защиты агроценозов, агроэкосистем и агроландшафтов от вредных видов // Роль мобилизации генетических ресурсов цветковых растений. Саратов, 2012. С. 180–195.

4. Кормопроизводство в сельском хозяйстве, экологии и рациональном природопользовании (теория и практика) / В. М. Косолапов, И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова. М.: Типография Россельхозакадемии, 2014. 135 с.
5. Косолапов В. М., Трофимов И. А., Трофимова Л. С. Кормопроизводству – сбалансированное развитие // АПК: Экономика, управление. 2013. № 7. С. 15–23.
6. Косолапова В. Г. Кормовая база - основа совершенствования пород крупного рогатого скота//Кормопроизводство. 2010. № 8. С. 40–42.
7. Кутузова А. А., Трофимова Л. С., Олигер М. А., Орленкова Е. К. Продуктивность долголетних сенокосов при разных системах ведения // Кормопроизводство. 2000. № 5. С. 11–15.
8. Кутузова А. А., Трофимова Л. С., Проворная Е. Е. Методика оценки потоков энергии в луговых агроэкосистемах (3-е издание, переработанное и дополненное). М.: Угрешская типография, 2015. 32 с.
9. Рекомендации по созданию продуктивных и устойчивых агроландшафтов / Шпаков А. С., Трофимов И. А., Кутузова А. А., Зотов А. А., Харьков Г. Д., Прологова Т. В., Тебердиев Д. М., Трофимова Л. С., Лебедева Т. М., Яковлева Е. П., Благовещенский Г. В., Штырхунов В. Д. – М.: Россельхозакадемия, 2003. 44 с.
10. Словарь терминов по кормопроизводству / В. М. Косолапов, И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова. М., 2010. 530 с.
11. Справочник по кормопроизводству. 5-е изд., перераб. и дополн. / Под ред. В.М. Косолапова, чл.-корр. Россельхозакадемии, доктора с-х наук, И. А. Трофимова, доктора географ. наук. М.: Россельхозакадемия, 2014. 717 с.
12. Трофимов И. А., Косолапов В. М., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Пути повышения эффективности возделывания отечественных сортов и технологий в агроландшафтах юга России \ \ Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 54. С. 305–309.
13. Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Кормопроизводство в развитии сельского хозяйства России // Адаптивное кормопроизводство. 2011. № 1. С. 4–8.
14. Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Травяные экосистемы в сельском хозяйстве России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2010. № 4. С. 37–40.
15. Трофимова Л. С., Кулаков В. А. Современное экспериментальное обоснование развития дернового процесса на лугах // Кормопроизводство. 2003. № 11. С. 11–14.

ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ И АДАПТИВНОСТЬ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА ЛИНИЙ И ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ

А. Н. Кравченко, О. А. Клименко

*Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений
г. Кишинев, Республика Молдова*

Методами гаметофитного анализа изучена засухоустойчивость и адаптивность у 19 линий и 13 гибридов кукурузы. Совместная оценка показателей признаков «диаметр пыльцевого зерна» (на осмотических фонах) и «частота образования хорошо выполненной пыльцы» позволила отобрать генотипы для дальнейшего использования в схемах создания устойчивых гибридов.

MALE GAMETOPHYTE DROUGHT TOLERANCE AND ADAPTIVITY IN MAIZE HYBRIDS AND LINES.

A. N. Cravcenco, O. A. Climenco

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection

Gametophytic analysis was used to study drought tolerance and adaptability in 19 lines and 13 maize hybrids. Gametic selection methods allow screening of maize genotypes for resistance to various abiotic factors, including drought. It is known that abiotic stresses significantly affect the development and viability of male gametophyte and the identification of the mechanism of pollen resistance to changing environmental conditions is very important. At the same time pollen viability can serve as an indicator of resistance to abiotic stresses. In this study, the drought tolerance and adaptability of maize genotypes were evaluated based on the such characters as «pollen grain diameter» and the «frequency of formation of well-developed pollen grains». In the experiment, solutions with an osmotic pressure of 27 atm, 57 atm and 81 atm were used. Indexes of water absorption and water-holding capacity were calculated as the ratio of the value of pollen grain diameter in the control (fresh pollen) and value of pollen grain diameter in the osmotic solution. For each genotype in the control samples of fresh pollen, the number of well-developed and the number of sterile (empty) pollen grains were determined. Genotypes with good water-holding capacity of pollen (W47, A285, P101, N6, W23, 4nW23, MK01xMo17, (P346xM11)x(P343xL459)) and high rates of the formation of well-developed pollen grains (MK01, Mo17, (P346xM11)x(P343xL459), (11hx34p)x(12hx14p)) were revealed. A two-way analysis of variance of the trait «pollen grain diameter» was carried out and it was established that the variability of this trait reliably depended on factors «genotype» (in lines – 41.5%^{***}, and in hybrids – 25.9%^{***}), «osmotic pressure» (in lines – 57.1%^{***}, and in hybrids – 68.6%^{***}), as well as from their interaction (in lines – 2.55%^{***}, and in hybrids – 5.1%^{***}). In the hybrid combinations used in the experiment, the dependence of the studied trait on the factor «osmotic pressure» was 2.6 times higher than on the factor «genotype». The highest values of the trait «pollen grain diameter» in all variants of osmotic solutions were noted in the lines P346wx1wx1, P101, B73, W47, 4nW23. It should be noted that MK01, P523, A285 lines and hybrid combinations (P346xM11) x (P343xL459), (11hx34p) x (12hx14p) demonstrated high indicators of the studied characteristics of male gametophyte and can be used to obtain drought tolerant and adaptive hybrids.

Методы гаметной селекции позволяют проводить скрининг генотипов кукурузы по устойчивости к различным абиотическим факторам, в том числе и к засухе. Отмечено, что абиотические стрессы достоверно влияют на развитие и жизнеспособность мужского гаметофита (Pacini, Dolferus, 2019), а выявление механизма устойчивости пыльцы к меняющимся условиям внешней среды является очень важным (Johnson et al, 2019). Показано, что жизнеспособность пыльцы может служить показателем устойчивости к абиотическим стрессам (Razzaq et al, 2019). В данном исследовании устойчивость и адаптивность генотипов кукурузы оценивали по признаку «диаметр пыльцевого зерна» и по частоте образования хорошо выполненной пыльцы. В качестве исходного материала использовали 19 инбредных линий (P346, P346wx1wx1, Rf7, A285, P523, Л1866, F2, P165, МК390, М11, МК01, P101, 092, Мо17, N6, В73, W23, 4nW23, W47) и 13 гибридных комбинаций ((P343×P346)×A239, (Л1866×Со125)×F2, (Л1866×092)х(Л459×М11), (Л1866×092)×(Л459хМ11), Со125×МК390, (P346×М11)×P346, (11h×34p)×(12h×14p), (F2×P101)×(P343×F2), МК01×N6, МК01×Мо17, МК390×М11, (МК390×М11)×МК390, (МК390×М11)×М11. Диаметр пыльцевых зерен измеряли с использованием микроскопа и окуляр микрометра. В опыте были использованы растворы с осмотическим давлением 27 атм., 57 атм. и 81 атм. Индексы водопоглощающей и водоудерживающей способности рассчитывали как отношение показателя диаметра пыльцевого зерна в контроле (свежесобранная пыльца) и показателя диаметра пыльцевого зерна на осмотическом фоне. Индекс со знаком (+) означает водопоглощающую способность, а со знаком – в контрольных образцах свежесобранной пыльцы с помощью микроскопа определяли количество полноценных (хорошо выполненных) и количество стерильных (пустых) пыльцевых зерен. Частота образования хорошо развитых пыльцевых зерен выражалась в процентах. Для статистического анализа полученных данных использовали программу Statgraphics 5.1.

Установлено, что изменчивость признака «диаметр пыльцевого зерна» достоверно зависела от факторов «генотип» (у линий на 41,5%^{***}, а у гибридов на 25,9%^{***}), «осмотическое давление» (у линий на 57,1%^{***}, а у гибридов на 68,6%^{***}), а также от их взаимодействия (у линий на 2,55%^{***}, а у гибридов на 5,1%^{***}). У использованных в опыте гибридных комбинаций, зависимость изучаемого признака от фактора «осмотическое давление» была в 2,6 раза выше, чем от фактора «генотип». Детальный анализ показал, что при осмотическом давлении в 27 атм. у большинства генотипов диаметр пыльцевых зерен достоверно был выше контроля (видимо за счет поглощения воды из осмотического раствора). Однако при более высоких показателях осмотического давления (57 атм. и 81 атм.), диаметр пыльцевых зерен по своим значениям был достоверно ниже контроля. Из 19 линий можно выделить пять с наиболее высокими показателями признака «диаметр пыльцевого зерна» на всех осмотических фонах. Это линии P346wx1wx1, P101, B73, W47, 4nW23, у которых средние показатели исследуемого признака составили 152,2, 166,3, 156,1, 164,5, 181,4 единиц окуляр микрометра, соответственно. Среди гибридных комбинаций, лучший средний показатель признака «диаметр пыльцевого зерна» на трех осмотических фонах был отмечен у простого гибрида МК01×Мо17 (153,9 единиц окуляр микрометра). Этот же гибрид выделился по индексам водопоглощения в осмотических растворах (табл. 1), как и гибрид (P346×M11)×(P343×L459).

Это указывает на то, что данные генотипы устойчивы к засухе. Также следует отметить еще четыре гибрида (МК390×M11, (11hx34p)×(12hx14p), (Л1866×Со125)×F2, (P343×P346)×A239), которые можно использовать в качестве исходного материала в селекции на засухоустойчивость. Среди инбредных линий определенным потенциалом устойчивости к данному стрессу обладают P346, Rf7, A285, P523, P165, MR390, МК01, P101, N6, W23, 4nW23 и W47.

Таблица 1. Индексы водопоглощения и водоудержания пыльцевых зерен

Генотип	27 атм.	57 атм.	81 атм.	линии	27 атм.	57 атм.	81 атм.
(P343×P346)×A239	+3,3	+0,5	-2,8	A285	+11	-1,6	-3,0
(Л1866×Со125)×F2	-6,3	-2,6	-0,4	P523	+3,7	-5,8	-7,3
(Л1866x092)×(Л459×M11)	+6,3	+4,3	-3,0	Л1866	-1,0	-6,4	-11
(P346xM11)×(P343×L459)	+9,0	+3,2	+0,7	F2	-0,7	-5,4	-4,7
Со125xМК390	-1,6	-7,5	-7,0	P165	+5,5	-2,3	-0,5
(P346xM11)×P346	-8,9	-9,1	-4,1	МК390	+3,5	-4,7	-6,2
(11h×34p)×(12h×14p)	+3,6	-3,7	-3,9	M11	-1,1	-2,7	-8,1
(F2×P101)×(P343×F2)	0	0	0	МК01	+3,8	-9,2	-8,4
МК01×N6	-1,5	-5,9	-7,3	P101	+6,2	+0,5	-0,3
МК01×Мо17	+8,4	+5,0	+3,0	092	+0,8	-3,1	-4,1
МК390×M11	+6,5	-2,5	-5,8	Мо17	-1,0	-7,9	-9,0
(МК390×M11)×M11	+1,0	-0,8	-7,9	N6	+6,1	-6,0	-9,5
(МК390×M11)×МК390	+2,6	-6,9	-6,9	B73	-3,4	-3,6	-12
P346	+7,0	+2,0	-1,7	W23	+8,5	+2,1	-0,3
P346wx1wx1	+7,1	-6,5	-1,3	4nW23	0	+11	-3,4
Rf7	+3,0	+3,0	-6,9	W47	+19	+5,3	+5

Показатель частоты образования хорошо развитых пыльцевых зерен отражает адаптивность генотипа к условиям выращивания. Диапазон изменчивости показателей данного признака у изученных генотипов составлял от 9,5% до 93,5% (таблица 2). Наиболее высокие значения частоты образования полноценных пыльцевых зерен отмечены у гибридов (P346×M11)×(P343×L459), Со125×МК390, (11h×34p)×(12h×14p), а также у линий МК01, Мо17, P523, A285.

Линии МК01, P523, A285 и гибридные комбинации (P346×M11)×(P343×L459), (11h×34p)×(12h×14p) характеризовались высокими показателями изученных признаков мужского гаметофита и могут быть использованы для получения устойчивых и адаптивных гибридов.

Таблица 2. Показатели частоты формирования полноценных пыльцевых зерен

Генотип	Хорошо выполненная пыльца, %	Линии	Хорошо выполненная пыльца, %
(P343×P346)×A239	66,6±2,09	A285	80,9±2,5
(Л1866×Со125)×F2	9,5±1,65	P523	84,0±2,34
(Л1866×092)×(Л459×M11)	29,9±0,52	Л1866	66,0±3,14
(P346×M11)×(P343×L459)	93,5±1,43	F2	15,3±2,17
Со125×МК390	80,5±2,22	P165	11,6±1,41
(11h×34p)×(12h×14p)	93,4±1,3	M11	54,6±2,97
(P346×M11)×P346	41,2±2,52	МК390	57,4±13,3
(F2×P101)×(P343×F2)	40,0±2,3	МК01	92,4±1,62
МК01×N6	62,5±4,15	P101	52,9±2,76
МК01×Mo17	18,2±2,01	092	38,3±2,67
МК390×M11	16,6±2,09	Mo17	91,1±1,84
(МК390×M11)×M11	27,7±2,34	N6	35,8±2,9
(МК390×M11)×МК390	50,9±3,13	B73	58,8±2,72
P346	19,1±2,05	W23	51,6±2,62
P346w×1w×1	32,6±2,61	4nW23	23,9±2,86
Rf7	11,0±1,53	W47	19,4±2,38

Список литературы

1. Johnson M., Harper J., Palanivelu R. A Fruitful Journey: Pollen Tube Navigation from Germination to Fertilization [Электронный ресурс] // Annual Review of Plant Biology. 2019. 70(1). p. 809–837.
URL: https://www.researchgate.net/publication/331459705_A_Fruitful_Journey_Pollen_Tube_Navigation_from_Germination_to_Fertilization
DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100133> (дата обращения 03.02.2020).
2. Pacini E., Dolferus R. Pollen Developmental Arrest: Maintaining Pollen Fertility in a World with a Changing Climate. [Электронный ресурс] // Front. Plant Sci. 2019. 10. p. 1–15.
URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00679/full>
DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00679> (дата обращения 05.02.2020)
3. Razaq M., Rauf S., Khurshid M., Iqbal S., Bhat J., Farzand A., Riaz A., Xing G., Gai J. Pollen Viability an Index of Abiotic Stresses Tolerance and Methods for the Improved Pollen Viability. [Электронный ресурс] // Pakistan Journal of Agricultural Research. 2019. 32(4). p.609-624.
URL: https://www.researchgate.net/publication/332866353_Pollen_Viability_an_Index_of_Abiotic_Stresses_Tolerance_and_Methods_for_the_Improved_Pollen_Viability
DOI: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2019/32.4.609.624> (дата обращения 09.02.2020).

**ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРА ФИТОПАТОГЕНОВ РОДА FUSARIUM И РОДА
MYROTHESCIUM ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН
ПШЕНИЦЫ ФУНГИЦИДОМ SHELL 120FS**

И. И. Кузнецова, В. А. Митин, И. В. Митина
*Институт генетики, физиологии и защиты растений,
Республика Молдова, Кишинев*

Статья посвящена изучению эффективности предпосевной обработки семян озимой пшеницы препаратом Shell 120FS (тебуконазол). Использование метода nested-ПЦР и видоспецифичных праймеров к грибкам родов *Fusarium* и *Myrothecium* выявило эффективное снижение степени инфицирования семян озимой пшеницы данными патогенами после обработки тебуконазолом.

**CHANGED SPECTRUM OF THE PATOGENS OF GENERA FUSARIUM
AND MYROTHESCIUM AFTER PRE-SOWING TREATMENT OF WHEAT
SEEDS WITH THE FUNGICIDE SHELL 120FS.**

I. Kuznetsova, V. Mitin, I. Mitina
Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of Moldova, Chişinău
This paper analyzes the efficiency and utility of presowing treatment of winter wheat seeds with the fungicide Shell120FS (tebuconazole at a concentration of 2.5%). The seeds of 6 varieties of winter wheat with different resistance to fungal diseases harvested in 2018 were divided into 2 groups: control (no treatment) and experiment (treated with Shell 120FS). Total DNA was isolated from 3 g of seeds of each variety according to the method recommended by ISO (21571:2005), and was used for subsequent PCR analysis. Primer pairs for identification of 5 *Fusarium* species and 2 *Myrothecium* species were developed. Using modern highly-specific methods of molecular biology (nested PCR) and highly specific primers we could detect the presence of *Fusarium equiseti*, *F. avenaceum*, *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *F. sporotrichioides*, *Myrothecium roridum*, *M. verrucaria* in two groups of samples: control (no fungicide treatment) and experiment (treated with Shell 120FS, 2.5%). The results of nested PCR analysis led us to the conclusion that the presowing treatment of all 6 varieties of winter wheat seeds with Shell 120FS resulted in an effective reduction of the contamination of seed material with the fungi *F. equiseti*, *F. avenaceum*, *F. sporotrichioides*, *F. verticillioides*, *Myrothecium roridum*. The treatment was the most efficient in the case of *Fusarium equiseti* and *Fusarium sporotrichioides* (in the case of other species, the efficiency was 70%). It was established that resistance of the variety *Kuialnik* to fungal diseases does not protect it from infection with *F. verticillioides*, *F. sporotrichioides*, *F. avenaceum*, *Myrothecium roridum*. It is confirmed that untreated grain placed in the grain storage is contaminated with the fungi of *Fusarium* spp. and *Myrothecium* spp. and poses a threat both as a source of contamination of new seedlings, and as a potential source of mycotoxins (e.g. roridine, T-2 toxin, zearalenone, fumonisine etc.), especially in case of improper storage conditions. Thus, presowing treatment of winter wheat seeds with the fungicide 120FS contributed to healthier seedlings, improved yield and grain quality, reduced pathogenic load of the soil.

Введение

Фитосанитарное состояние почвы оказывает существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Особенно велик ущерб, наносимый инфекционными заболеваниями, вызванными патогенными грибами, бактериями и вирусами. При возделывании зерновых культур грибы рода *Fusarium*, вызывающие корневые гнили и фузариозные заболевания колоса, наносят колоссальный урон (Chen, Ran et al., 2016). Более 30 видов грибов рода *Fusarium* являются продуцентами микотоксинов: дезоксиниваленол, Т-2 токсин, зеараленон, фумонизин и др. Значительный вред посевам зерновых наносят и грибки из рода *Myrothecium* (Николаева, Маржина, Николаев, 2010). Мировые потери от грибных болезней составляют до 10% валового сбора урожая сельскохозяйственных культур. Фитосанитарное состояние почвы напрямую зависит от качества посевного материала, используемого при посевах зерновых культур. Достаточно широко в Республике Молдова при подготовке к посеву зерновых культур используется метод предварительного протравливания семян пшеницы фунгицидом Shell 120FS (тебуконазол) в концентрации 2,5%. Тебуконазол – фунгицид системного действия, нарушает биохимические процессы синтеза эргостерина в мембранах клеток фитопатогена, что приводит к деструкции грибов. Целью данных исследований было изучение влияния обработки посевного материала различных сортов пшеницы препаратом Shell 120FS на изменение спектра фитопатогенов родов *Fusarium* и *Myrothecium* с помощью современных методов молекулярной биологии (nested-PCR).

Материалы и методы

Исследования проводились с использованием семян шести сортов озимой пшеницы урожая 2018 года. Сорты местной селекции: Молдова 5, Молдова 11, Молдова 66, Молдова 79, Молдова 614, Куяльник (Украина). Группы образцов: контроль – А – (необработанные семена), опытная группа – Б – (семена, обработанные препаратом Shell 120FS (2,5%) по установленным протоколам.

Выделение ДНК. Суммарная ДНК была выделена из 3-х граммов средней пробы семян пшеницы каждого сорта методом ISO (21571:2005), которая затем использовалась для ПЦР анализа.

Аmplификация. Для анализа грибов рода *Fusarium* и рода *Myrothecium* были проведены реакции nested-ПЦР со вложенной парой праймеров. В качестве сайтов-мишеней при выявлении видового разнообразия фузариума, определяемого в суммарной ДНК, использовались последовательности, указанные в таблице 1. Для определения видового разнообразия грибов семейства *Myrothecium* использовались последовательности ITS ДНК *M. roridum* и *M. verrucaria* (GenBank). В таблице 1 содержится полная информация об используемых парах праймеров 2 раунда nested-ПЦР для определения видового разнообразия *Fusarium* spp. и *Myrothecium* spp., также приведены размеры амплифицируемых фрагментов (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast>). Дизайн праймеров был осуществлен Митиным В. А. Виды грибов рода *Fusarium* и рода *Myrothecium*, указанные в таблице 1, наиболее распространены в нашем регионе, поэтому их определение в семенах контрольной (А) и опытной (Б) групп имело первостепенное значение.

Реакция проводилась в 25 мкл, включающих 66 мМ Tris-HCl (pH 8.4), 16 мМ (NH₄)₂SO₄, 2,5 мМ MgCl₂, 0,1 % Tween 20, 7% глицерол, 100 мкл-1 BSA, 0,2 мМ каждого dNTP, 1,25 единиц Taq ДНК полимеразы (Thermo Fisher Scientific), 5 pM прямого и обратного праймеров и 10 нг ДНК.

Условия проведения полимеразной цепной реакции. Первый раунд: 3 мин денатурации при 95°C, затем 30 циклов, включающих денатурацию (1 мин, 95°C), отжиг (1 мин, 60°C), элонгацию (1 мин, 72°C), и 1 цикл финальной элонгации (7 мин, 72°C). Второй раунд: 30 циклов, включающих денатурацию (1 мин, 95°C), отжиг (1 мин, 60°C), элонгацию (1 мин, 72°C), и 1 цикл финальной элонгации (7 мин, 72°C). Продукты амплификации были разделены с помощью гель-электрофореза в 1,5% агарозном геле с добавлением бромистого этидия в

конечной концентрации 5 мкг/мл, использовался молекулярный маркер (М) фирмы Thermofisher scientific (GeneRuler 100 bp DNA) Визуализация проводилась в УФ свете при длине волны 302 нм.

Таблица 1. Праймеры 2 раунда, подобранные для идентификации фитопатогенов методом ПЦР

Патоген	Пара праймеров	Последовательность (5'→3')	Область генома	Ампликон (п.о.)
Fusarium spp.	fc3(F)	CCATCGAGAAGTTCGAGAAGGTT	TEF1 gene	300
	fc4(R)	CCCAGGCGTACTTGAAGGAA		
F. verticillioides	fv3(F)	TCCTTCTATCGCGCGTTCTTT	TEF1 gene	160
	fv4(R)	GGAATGGGAGAGGGCAGAAAC		
F. avenaceum	fa3(F)	CGACTCGCTCCCTCATTCG	TEF1 gene	139
	fa4(R)	GTTTTGTGGGAACAGGGCAAG		
F. oxysporum	fox3(F)	GTCAACATACTGACATCGTTTCACA	TEF1 gene	291
	fox4(R)	ACGTGACGACGCACTCATT		
F. equiseti	fpeqin2(F)	TCCCCAGAATCAATACGCTAACC	β-tubulin gene	104
	fpeqin3(R)	TCACTGGGTAACAAGGTCGAAGA		
F. sporotrichioides	fqspte2 (F)	CTTCATACGACGACTCGACAAG	tef1 gene	135
	Fqspte3 (R)	TGTGTGGGAAGGGCAAAAGC		
Myrothecium roridum	myr3 (F)	TGTCTTTAGTGGTTTTCTCCTCTGA	ITS-small subunit ribosomal RNA gene	306
	myr4 (R)	GAGACCGCCACTGAATTTTCG		
Albifimbria verrucaria	av3 (F)	GCTCAAGTCGCAACGAGATTC	calmodulin gene	272
	av4 (R)	GGCTCAATGACGTGTGCTTC		

Результаты и обсуждения. На рис. 1 представлены результаты реакции nested-ПЦР с использованием пары праймеров для идентификации *Fusarium avenaceum*.

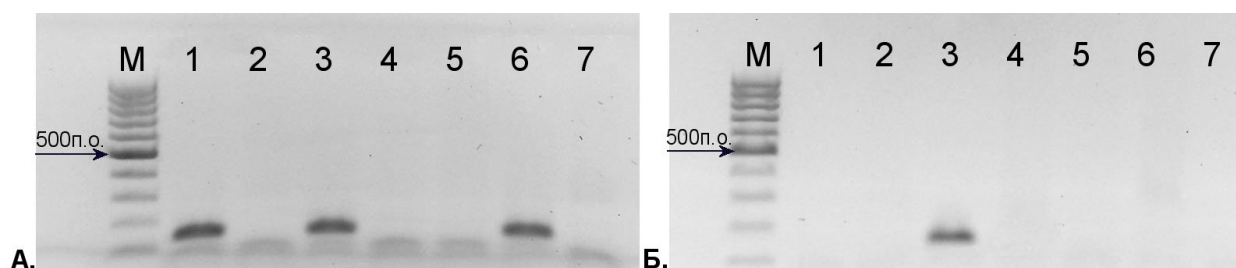


Рис. 1. Электрофорез продуктов амплификации образцов ДНК, выделенной из зерна, с праймерами к *F. Avenaceum*:
 ряд А – контрольная группа; ряд Б – опытная группа; 1 – М5; 2 – М11; 3 – М66; 4 – М79; 5 – М614; 6 – Куяльник; 7 – контроль(Н2О), М – маркер (100 п.о.)

Величина амплифицируемого фрагмента 139 пар оснований (см. таблицу 1). В контрольном варианте три сорта из шести содержали *F. avenaceum*. После обработки семян тебуконазолом только в образце № 3 (Молдова 66) обнаруживается ДНК *F. avenaceum*. Аналогичные результаты были получены при проведении реакции nested-ПЦР с парой праймеров к *F. verticillioides* (160 п.о.). В отношении этих видов грибов рода *Fusarium* эффективность обработки очевидна, содержание неповрежденной ДНК этих возбудителей уменьшается, в образцах № 1 и № 6 после обработки тебуконазолом эти 2 вида фузариума уже не определяются.

Наиболее показательным является рис. 2, на котором представлены результаты реакции nested-ПЦР с использованием пары праймеров для определения *Fusarium equiseti* (длина амплифицируемого фрагмента 104 пары оснований). На электрофореграмме видно, что до обработки фунгицидом семена пяти сортов из шести содержали ДНК *F. equiseti*, после обработки данный вид грибка обнаруживается в семенах только сорта Молдова 79 (образец № 4).

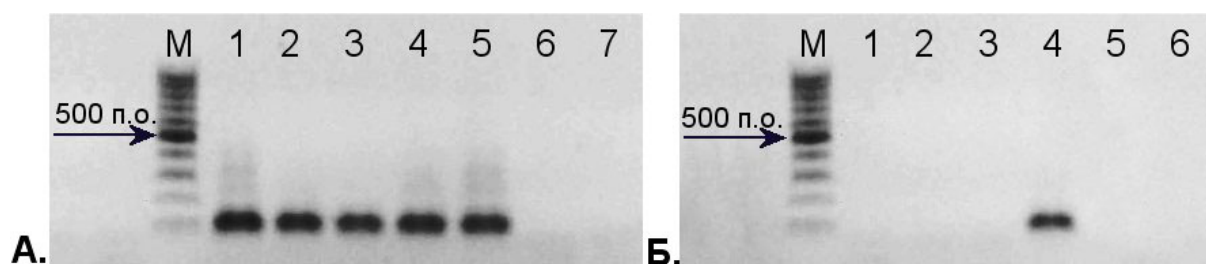


Рис. 2. Электрофореграмма продуктов амплификации 2 раунда nested-ПЦР образцов ДНК с праймерами к *F. equiseti*:
1 – М5, 2 – М11, 3 – М66, 4 – М79, 5 – М614, 6 – Куяльник, 7 — контроль (вода), М – маркер (100п.о.). Ряд А – контрольная группа, ряд Б– опытная группа

На рис. 3 представлен электрофорез продуктов амплификации ДНК семян изучаемых сортов озимой пшеницы с праймерами к *F. sporotrichioides* (размер ампликона 135 пар оснований, см. табл. 1). На фото представлен электрофорез продуктов амплификации контрольных образцов (без обработки фунгицидом).

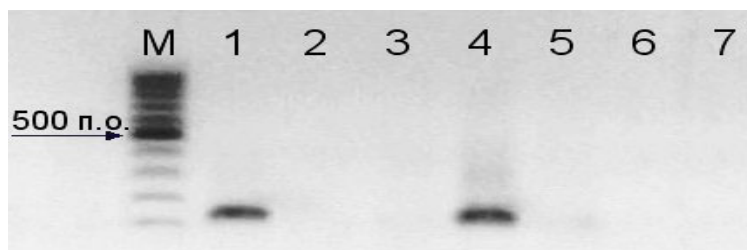


Рис. 3. Электрофорез продуктов амплификации образцов ДНК, выделенной из зерна, с праймерами к *F. Sporotrichioides*: 1 – М5; 2 – М11; 3 – М66; 4 – М79; 5 – М614; 6 – Куяльник; 7 – контроль(H_2O); М – маркер (100 п.о.)

Из 6 образцов семян *F. sporotrichioides* обнаружен в семенах пшеницы Молдова 5 и Молдова 79 (образцы № 1 и № 4). В опытной группе (вариант Б) не было получено ни одного положительного сигнала, что свидетельствует о максимальной эффективности данного фунгицида в отношении патогена *F. sporotrichioides*.

Для диагностики патогенов семейства *Myrothecium* были подобраны пары праймеров, идентифицирующих в реакции nested-ПЦР *Myrothecium roridum* и *Myrothecium verrucaria* (*Albifimbria verrucaria*). *M. roridum* соответствовал фрагмент длиной 306 п.о., *M. verrucaria* соответствовал фрагмент 272 п.о. (см. табл. 1). На рис. 4 представлена электрофореграмма продуктов амплификации 2 раунда реакции nested-ПЦР с праймерами к *Myrothecium roridum* (величина ампликона 306 пар оснований). В варианте без обработки (А) из 6-ти сортов озимой пшеницы 3 содержат ДНК этого патогена (образцы 2, 4, 7). Обработка Shell 120FS значительно снижает содержание данного грибка в семенах, только образец № 4 (Молдова 66) дал положительный сигнал.

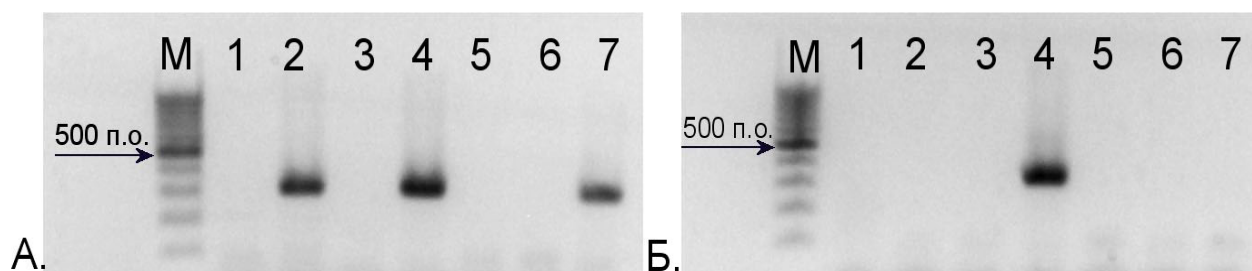


Рис. 4. Электрофореграмма продуктов амплификации 2 раунда nested-ПЦР с праймерами к *Myrothecium roridum* в 2-х группах образцов (А – ДНК необработанных семян, Б – после обработки Shell 120FS (2,5%). № 1 – контроль (вода), № 2 М-5, № 3 М-11, № 4 М-66, № 5 М-79, № 6 М-614, № 7 – Куяльник.

F. oxysporum и *M. verrucaria* в семенах исследуемых сортов озимой пшеницы урожая 2018 года не были обнаружены.

Выводы:

1) Попадающее в хранилище зерно озимой пшеницы массово обсеменено грибами *Fusarium* spp. и *Myrothecium* spp. и представляет фитосанитарную угрозу как источник заражения новых посевов, почвы.

2) Видоспецифичный анализ грибковой микофлоры показал массовое присутствие в необработанном зерне *F. verticillioides*, *F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. sporotrichioides*, *Myrothecium roridum*.

3) Предпосевная обработка семян озимой пшеницы препаратом Shell 120FS (2,5%) эффективно снижает процент семян, инфицированных грибами родов *Fusarium* и *Myrothecium*. Максимальная эффективность обработки обнаружена в отношении *F. equiseti* и *F. sporotrichioides*, в отношении остальных изученных видов эффективность составляет 70%. Обработка семян фунгицидом Shell 120FS – это действенный метод снижения зараженности посевов озимой пшеницы грибковыми патогенами и сохранения качества зерновой продукции.

Список литературы

1. Николаева С., Маржина Л., Николаев А. Патогенные свойства грибов рода *Myrothecium* Tode ex Fries, *Studia universitatis*, 2010, nr. 1(31), 88–93.
2. GenBank <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>.
3. ISO 21571:2005(en) Foodstuffs – Methods of analysis for the detection of genetically modified organisms and derived products – Nucleic acid extraction [Online]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:21571:ed-1:v1:en>.
4. MycoBank Database <http://www.mycobank.org>.
5. Chen Y., Ran S., Dai D. et al. *Mycosphere Essays* 2. *Myrothecium*, *Mycosphere* 7(1): 64–80(2016), p. 64–80.

КОМПЛЕКС ДАТЧИКОВ ДЛЯ СУТОЧНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО НЕИНВАЗИВНОГО ФИТОМОНИТОРИНГА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

Т. Э. Кулешова^{1,2}, А. И. Желнина¹, Н. Р. Галль¹, О. Р. Удалова², Г. Г. Панова²

¹ФГБУН Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН;

²ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

В работе представлено тестирование разработанного неинвазивного комплекса датчиков для длительного автоматического мониторинга параметров окружающей растении среды – температуры, влажности, освещенности, и динамики состояния растительных организмов – показателей роста, биоэлектрических потенциалов прикорневой зоны, оптических параметров листьев при выращивании растений в условиях интенсивной светокультуры.

COMPLEX OF SENSORS FOR DAILY AUTOMATIC NON-INVASIVE PHYTOMONITORING IN CONDITIONS OF INTENSIVE PHOTOCULTURE

T. E. Kuleshova^{1,2}, A. I. Zhelnina¹, N. R. Gall¹, O. R. Udalova², G. G. Panova²

¹*Ioffe Institute;*

²*Agrophysical Research Institute*

The paper focuses on testing of the developed non-invasive complex of sensors for long-term automatic monitoring of the environment parameters – temperature, humidity, illumination, and the dynamics of the plant state – growth, bioelectric potentials of the root zone, optical parameters of leaves when growing plants in conditions of intensive photoculture.

Введение

Для повышения эффективности использования ресурсов (свет, CO₂, вода, электричество, удобрения) при выращивании растений в регулируемых условиях интенсивной светокультуры (тепличные комплексы, растительные фабрики и т. д.) необходимо осуществлять мониторинг параметров окружающей среды и функционального состояния растительных организмов (Kozai, 2018; Панова и др., 2020).

Исследования в области физиологических процессов в интактных растениях с применением методов автоматической регистрации и созданием на их основе систем управления жизнедеятельностью растений были начаты В. Г Кармановым еще в 1950-х годах (Карманов, 1959). На начальном этапе это

направление называлось «физиологический мониторинг», термин «фитомониторинг» был введен в 1987 году. В качестве базовых физиологических показателей, поддающихся непрерывной автоматической регистрации, были предложены: ксилемный поток, тургор, рост (Лялин и др., 1987). Основными принципами методики фитомониторинга являются непрерывность регистрации информации, безвредность для растения, сохранность условий внешней среды и синхронность получения информации о разных физиологических процессах (Карманов, 1969). Наиболее информативными и репрезентативными являются не абсолютные значения регистрируемых параметров, а формы кривых, образованных в результате суточной регистрации, а также многосуточные тренды изменений параметров (Плугатарь и др., 2015).

В настоящее время широкое распространение получило внедрение цифровых технологий «умного сельского хозяйства», в том числе: использование оптических критериев (индексов отражения), характеризующих особенности спектральных показателей посева при воздействии различных стрессоров (Якушев и др., 2020), интеллектуальные системы распознавания состояния растений на основе методов и средств компьютерного зрения (Шестакова и др., 2018); анализ цифровых изображений и алгоритмов по распознаванию объектов для выявления инфицированных растений, отслеживания динамики роста листвы и степени зрелости плодов, прогнозирования продуктивности светокультур (Прошкин, Соколов, 2019); управление параметрами микроклимата с учетом состояния светопоглощающей системы растений (Басарыгина и др., 2017), исследование неоднородности микроклимата, влияющее на количественные и качественные характеристики растений (Ferentinos et al., 2017).

Цель данной работы заключалась в разработке и тестировании многофункционального комплекса датчиков для регистрации состояния

растительных организмов *in vivo* в процессе их развития и одновременного мониторинга параметров окружающей среды.

Материалы и методы

Контроль параметров окружающей среды – температуры, влажности, освещенности, а также состояния растительного организма осуществлялся с помощью разработанной системы неинвазивных датчиков и микроконтроллера. Измерительная установка (рис. 1) включает в себя: 1) емкость для выращивания и объект исследования; 2) систему электродов для регистрации биоэлектрических потенциалов (БЭП) по методике, описанной в (Кулешова и др., 2019); 3) источник света; 4) ультразвуковой датчик расстояния HC SR04; 5) датчик освещенности BH1750, расположенный под листовой поверхностью для регистрации пропускательной способности листа растения; 6) датчик DHT11 для измерения температуры и влажности воздуха; 7) аппаратную платформу Arduino Mega, построенную на микроконтроллере ATmega2560 и осуществляющую автоматическую регистрацию описанных параметров с заданной пользователем частотой.

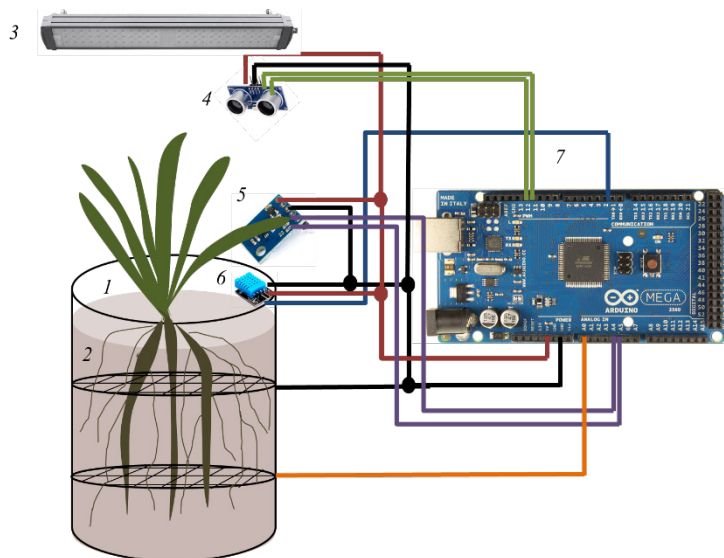


Рис. 1. Схематичное изображение экспериментальной установки и разводки выводов: 1 – исследуемый образец в емкости для выращивания, 2 – система электродов для измерения биопотенциалов прикорневой зоны, 3 – источник света, 4 – ультразвуковой датчик, 5 – датчик освещенности; 6 – датчик температуры и влажности, 7 – аппаратная платформа.

Результаты и обсуждение

Проведено сравнение влияния двух источников света – галогеновых и светодиодных ламп на пропускательную способность листьев салата (*Lactuca sativa* L.) сорта Азарт, пропорциональную их оптической плотности, динамику биопотенциалов в прикорневой зоне и изменение параметров окружающей среды (рис. 2). Наличие ИК излучения в спектре галогеновой лампы стало причиной повышения температуры (на $>10^{\circ}\text{C}$) и снижения влажности (на $\sim 10\%$) воздуха около растений. С одной стороны, это привело к более интенсивному поглощению света листьями (меньшей интенсивности пропускания), а с другой, величина БЭП, генерируемых в прикорневой зоне, была ниже по сравнению с таковой при облучении светодиодными лампами.

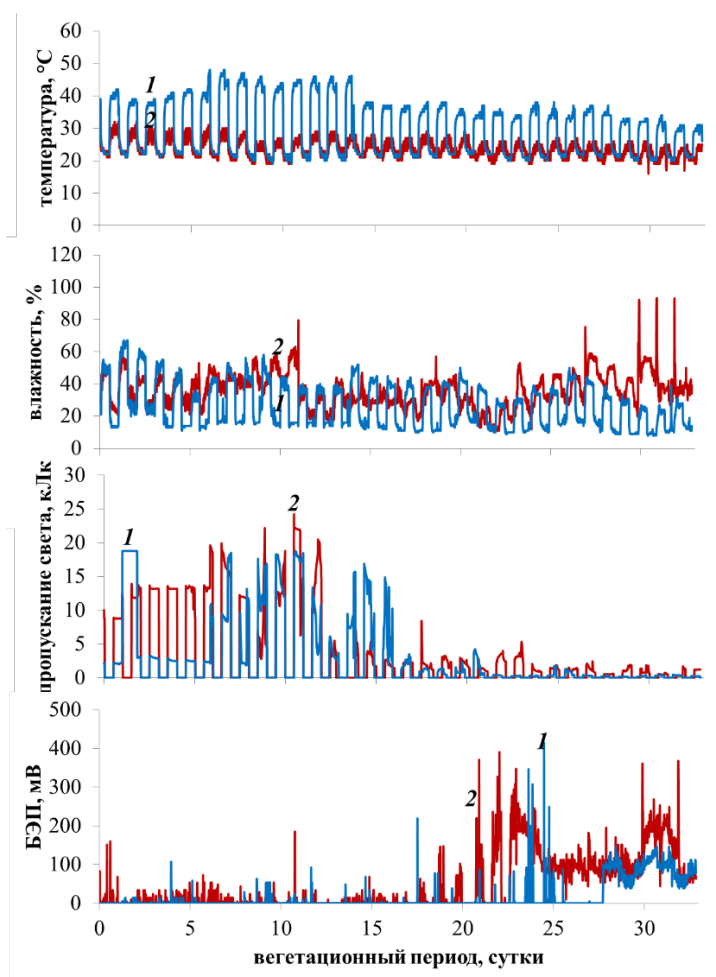


Рис. 2. Динамики температуры и влажности воздуха, пропускательной способности листьев салата и биопотенциалов в прикорневой зоне в процессе развития при облучении 1 – галогеновыми и 2 – светодиодными лампами

Изучено влияние двух источников света – ламп ДНаТ и светодиодного светильника со схожими спектрами в видимой области, характеристики которых описаны в (Кулешова и др., 2020), на пропускательную способность листьев огурца, скорость роста, описываемую расстоянием между датчиком и объектом, и изменение параметров окружающей среды (рис. 3). В спектре излучения лампы ДНаТ, как и для галогенового источника, присутствует значительная доля ИК составляющей, что также приводит к повышению температуры воздуха во время работы лампы и большим скачкам, то есть значительному снижению и температуры, и влажности, во время смены на ночной период по сравнению с облучением растений в процессе развития светодиодным светильником. Значительный разброс в параметрах внешней среды сказывается и на поглощательных свойствах листьев – под натриевым источником света динамика его поглощения листьями более неравномерна, на 16-17 дни развития наблюдается снижение поглощения, тогда как для светодиодного освещения характерны стабильные значения. Кроме того, под лампами ДНаТ поглощение света листьями огурца имеет более низкие значения. Измеренная скорость роста растений составила 0,2 см/день при светодиодном освещении и 0,5 см/день - при натриевом. Под лампами ДНаТ растения огурца развиваются быстрее.

Таким образом, проведено тестирование созданного метода мониторинга состояния растений и среды их обитания на примере ряда овощных культур (салат, огурец) в условиях вариации световой среды при полностью искусственном освещении. Применение комплекса датчиков при выращивании растений в условиях интенсивной светокультуры позволяет отслеживать динамику роста, развития растительных организмов, изучать влияние и судить об оптимальности внешних условий для реализации их продукционного потенциала, проводить корректировку технологии культивирования на основе полученных данных.

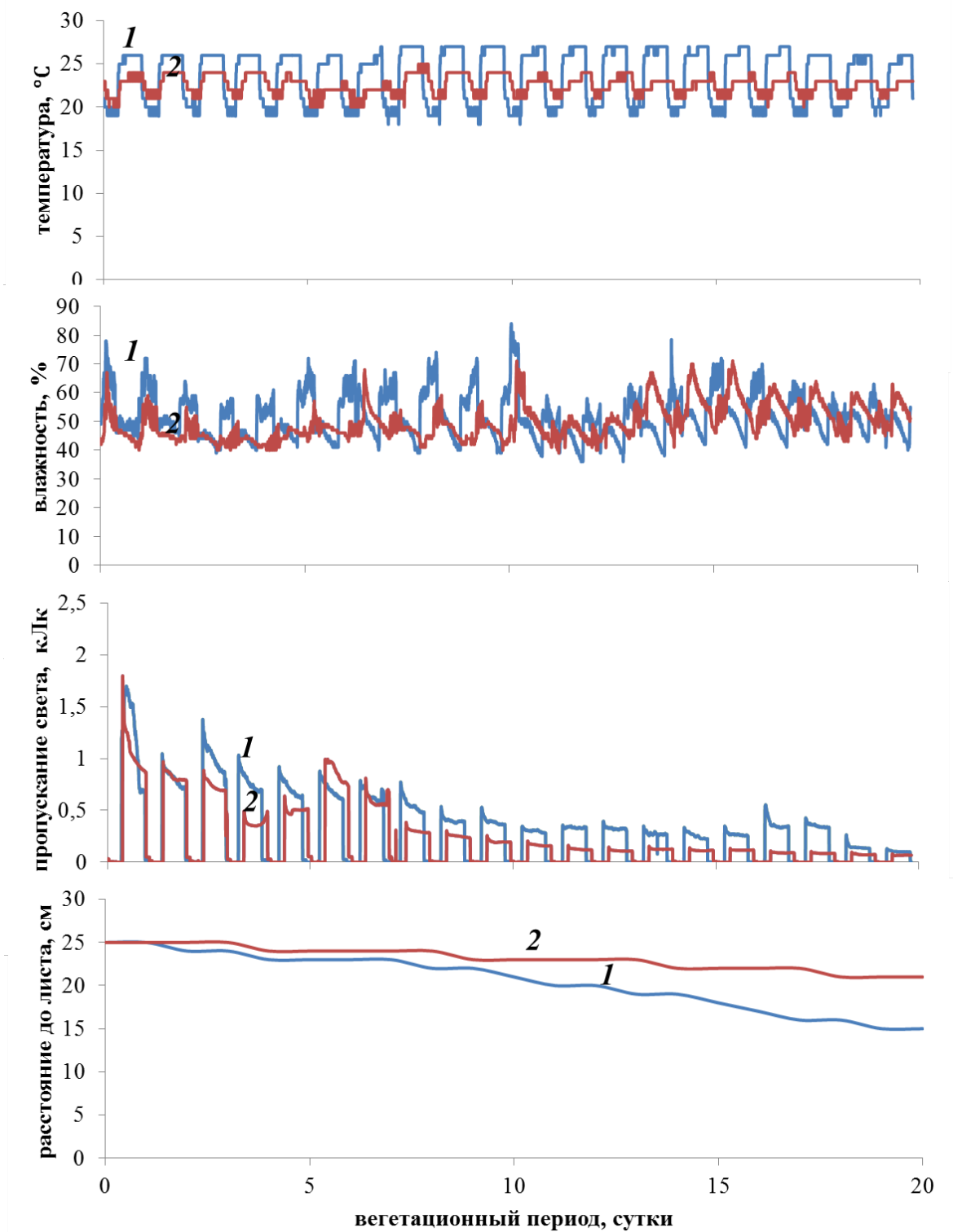


Рис. 3. Динамики температуры и влажности воздуха, пропускательной способности листьев салата и скорости роста при облучении 1 – лампами ДНаТ и 2 – светодиодными светильниками.

Список литературы

1. Kozai T. (ed.). Smart Plant Factory: The next generation indoor vertical farms. Springer, 2018.
2. Панова Г. Г., Удалова О. Р., Канаш Е. В., Галушко А. С., Кочетов А. А., Прияткин Н. С., Архипов М. В., Черноусов И. Н. Основы физического моделирования «идеальных» агроэкосистем // Журнал технической физики. 2020. Т. 90. № 10. С. 1633–1639.
3. Карманов В. Г. Приложение автоматики и кибернетики к растениеводству // ДАН СССР. 1959. Т. 128. № 1.
4. Лялин О. О., Радченко С. С., Карманов В. Г. Проблемы фитомониторинга на современном этапе // Физические методы и средства получения информации в агромониторинге. Л.: АФИ, 1987. С. 30–35.
5. Карманов В. Г. Использование микрорезисторной техники для получения информации о среде и жизнедеятельности растений // Вопросы экспериментальной биофизики и кибернетики растений. Труды АФИ. 1969. № 24. С. 5–10.
6. Плугатарь Ю. В., Ильницкий О. А., Корсакова С. П., Паштецкий А. В. Экологический фитомониторинг: исторический экскурс, состояние и перспективы // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2015. № 114. С. 7–13.
7. Якушев В. П., Петрушин А. Ф., Матвеев Д. А., Блохина С. Ю., Канаш Е. В., Якушев В. В. Новый метод количественной оценки внутрислоевого изменчивости по оптическим характеристикам посевов для точного земледелия // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 2. С. 4–10.
8. Шестакова Ю. А., Кирпичников А. П., Ляшева С. А., Шлеймович М. П. Интеллектуальная система распознавания состояния растений // Вестник Технологического Университета. 2018. Т. 21. № 10. С. 175–180.
9. Прошкин Ю. А., Соколов А. В. Мониторинг состояния светокультур системами технического зрения // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 2. С. 189–198.
10. Басарыгина Е. М., Лицингер О. Г., Путилова Т. А. Измерительная система фитомониторинга // АПК России. 2017. Т. 24. № 5. С. 1141–1146.
11. K. P. Ferentinos, N. Katsoulas, A. Tzounis, T. Bartzanas, C. Kittas Wireless sensor networks for greenhouse climate and plant condition assessment. Biosystems Engineering, 153 (2017), p. 70–81.
12. Кулешова Т. Э., Бушлякова А. В., Галль Н. Р. Неинвазивное измерение биоэлектрических потенциалов растений // Письма в ЖТФ. 2019. Т. 45. № 5. С. 6–8.
13. Кулешова Т. Э., Черноусов И. Н., Удалова О. Р., Аникина Л. М., Хомяков Ю. В., Александров А. В., Середин И. С., Феофанов С. В., Щеглов С. А., Галль Н. Р., Панова Г. Г. Влияние спектральных особенностей световой среды на поглощение света листьями салата и его нетто-продуктивность // Биофизика. 2020. Т. 65. № 1. С. 112–124.

ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЧВЕННЫХ ГРИБОВ С ПШЕНИЦЕЙ НА НАСЛЕДУЕМОСТЬ И ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СИЛЫ СЕМЕНИ

Г. А. Лупашку, С. И. Гавзер, Е. Ф. Сашко, К. В. Кошалык

Институт генетики, физиологии и защиты растений, Республика Молдова

В статье приводятся данные относительно влияния культуральных фильтратов (КФ) почвенных грибов *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Drechslera sorokiniana* на всхожесть зерен и длину проростка озимой мягкой пшеницы. Выявлена генотипическая реакция пшеницы на обработку зерен КФ. Параметры variability, наследуемости и генетического прогресса для указанных признаков были выше при реакции на *D. sorokiniana*.

INFLUENCE OF INTERACTION OF SOIL FUNGI WITH WHEAT ON HERITAGE AND VARIABILITY OF SEED VIGOUR

G. A. Lupashku, S. I. Gavzer, E. F. Sasco, C. V. Cosalic

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Republic of Moldova

The article presents data on the culture filtrates (CF) effect of soil fungi *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Drechslera sorokiniana* on the grains germination and the seedlings length of winter common wheat. The genotypic reaction of wheat to the processing of the grains CF was revealed. It was found that CF did not significantly affect the germination of wheat grains. Regarding the length of the seedling and the seed vigour, it was noted that CF contributed to the reduction of traits in the case of each fungus, however, their influence was different and depended to a large extent on the plant genotype and pathogen isolate. Factor analysis found that the contribution of the isolate dominated the source of variability of the seedling length and seed vigour. The heritability coefficient in the broad sense recorded higher values in the case of the seedling length (36.1–71.3%) than the seed strength (27.0–60.1%). The parameters of variability, heritability, and genetic progress for these characters were higher in response to *D. sorokiniana*. This indicates a significant contribution of the additive genetic variant to the control of seedling length and seed vigour, which represents significant advantages for breeding wheat plants resistant to this pathogen. The association of low-average values of these parameters in response to the fungi *F. oxysporum* and *F. solani* indicates a significant effect of pathogens on the organs of growth and development and the need to select resistant plants for a longer time.

Качество семян сильно варьирует под воздействием условий окружающей среды. Генетическая компонента качества служит основой реализации потенциальной продуктивности генотипа. Всхожесть семян в конкретных полевых условиях определяется сложными взаимосвязями семени с окружающей средой и является результатом фенотипической реализации заданных наследственных свойств организма. Ее определяет целый комплекс биотических и абиотических факторов, которые должны находиться в

оптимальном соотношении для получения дружных всходов (Алексейчук, 2009). Качество семян, определяемое всхожестью и силой семени (*seed vigour*) (Pradeep, 2018), имеет большое значение для равномерного появления растений, что является ключевым моментом для обеспечения хороших посевов и гарантированного качественного урожая (Filho, 2015). Согласно Perry (1984), сила семени является важным параметром, который необходимо оценить для дополнения тестов всхожести и жизнеспособности семян с целью получения данных относительно пригодности семян для полевых условий после хранения.

Корневые гнили зерновых колосовых культур, в том числе озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), являются одними из наиболее вредоносных и распространенных болезней во всех регионах возделывания этих культур. Гниение зерен и первичных и вторичных корешков проявляется на очень ранних этапах развития, что сказывается самым прямым образом на физиологическом состоянии посевов. В условиях Республики Молдова корневая гниль озимой мягкой пшеницы вызвана множеством грибных патогенов, но виды *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Drechslera sorokiniana* выделяются чаще всего из растений с симптомами болезни на протяжении всего онтогенеза, в том числе на начальных этапах вегетации (Lupaşcu, Gavzer, 2018).

Цель настоящих исследований – выявить влияние некоторых почвенных грибов – возбудителей корневых гнилей на компоненты силы семени мягкой озимой пшеницы (всхожесть, длина проростка), их наследуемость и изменчивость.

Опыты были проведены в лабораторных условиях. В качестве материала для исследований послужили 8 генотипов (линии и сорта) озимой мягкой пшеницы – L 1/3/М 3, L Sel./Accent, L Bas./М 30, L М/М3, L Cub. 101/Bas., Moldova 16, Moldova 66, Moldova 11.

Грибы *F. oxysporum*, *F. solani*, *D. sorokiniana* были выделены из растений озимой мягкой пшеницы с признаками гниения у основания стебля на питательной среде *Potato Dextrose Agar* и идентифицированы согласно

морфолого-культуральным признакам (Bilai, 1977; Barnett, Hunter, 1998). Культуральные фильтраты (КФ) грибов (по 3 изолята для каждого вида) были приготовлены на жидкой питательной среде Чапека (Методы ..., 1982).

После замачивания зерен пшеницы в КФ в течение 18 часов растения проращивали при температуре 20°C в течение 6 дней в чашках Петри. В качестве признаков роста и развития растений использовали всхожесть и длину проростка 6-дневных растений. Данные были обработаны с помощью двухфакторного дисперсионного анализа в пакете программ STATISTICA 8.

Были установлены следующие параметры: дисперсии - генетическая (σ^2_g – *genetic variance*) и фенотипическая (σ^2_{ph} – *phenotypic variance*), коэффициент наследуемости в широком смысле слова (h^2 – *heritability in broad sense*), коэффициенты вариации - фенотипический (PCV,% – *phenotypic coefficients of variation, %*) и генотипический (GCV,% – *genotypic coefficients of variation, %*), генетический прогресс (GA,% – *genetic advance, %*) (Adeniji, 2018; Balkan, 2018).

Выявлено, что КФ не оказали существенного влияния на всхожесть зерен пшеницы. Так, если в контрольных вариантах всхожесть варьировала в пределах 80,0–84,2%, в вариантах с КФ *F. oxysporum* показатель был на уровне 77,5–84,2%, КФ *F. solani* – 79,2–85,0%, КФ *D. sorokiniana* – 75,8–87,5%.

Что касается длины проростка (рис. 1) отмечено, что КФ способствовали снижению признака в случае каждого гриба, однако сила действия была разной и зависела в значительной степени от генотипа растения и изолята патогена. Например, КФ3 гриба *F. oxysporum* вызвал снижение длины проростка у линии L Sel./Accent на 27,7% и на 7,4% – у генотипа Moldova 11; КФ1 гриба *F. solani* оказал ингибирующее действие на длину проростка – на 4,2; 23,0 и 32,4% соответственно генотипам L M/M 30, M 66 и L Sel./Accent. В случае гриба *D. sorokiniana*, также выявлено существенное влияние КФ на рост растений. Например КФ2 и КФ3 снизили длину проростка на 17,9...31,2% и 25,9...27,2% у генотипов L Sel./Accent и L Cub.101/Bas, соответственно. Однако эти КФ не оказали значительное действие на генотипы L 1/3/M30, L M/M30, M 16.

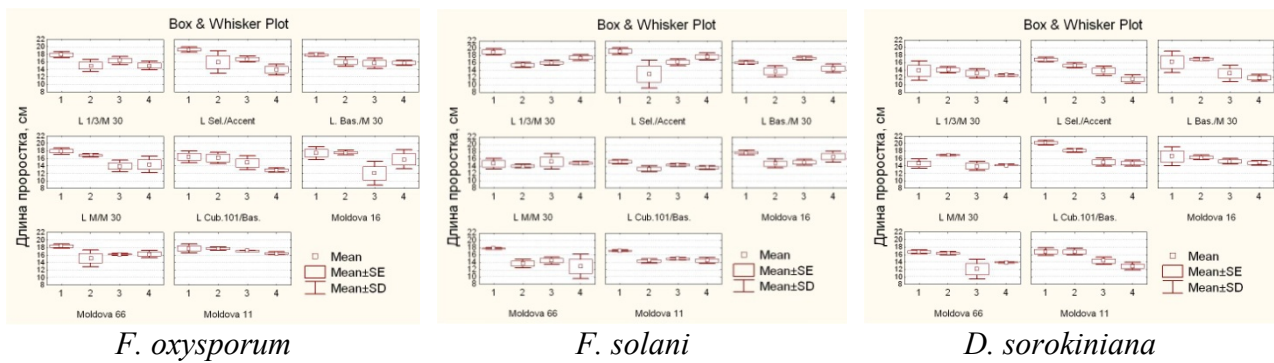


Рис. 1. Влияние почвенных грибов на длину проростка пшеницы

Сила семени, также как и длина проростка, варьировала у изученных генотипов в зависимости от генотипа растения и изолята патогена (рис. 2).

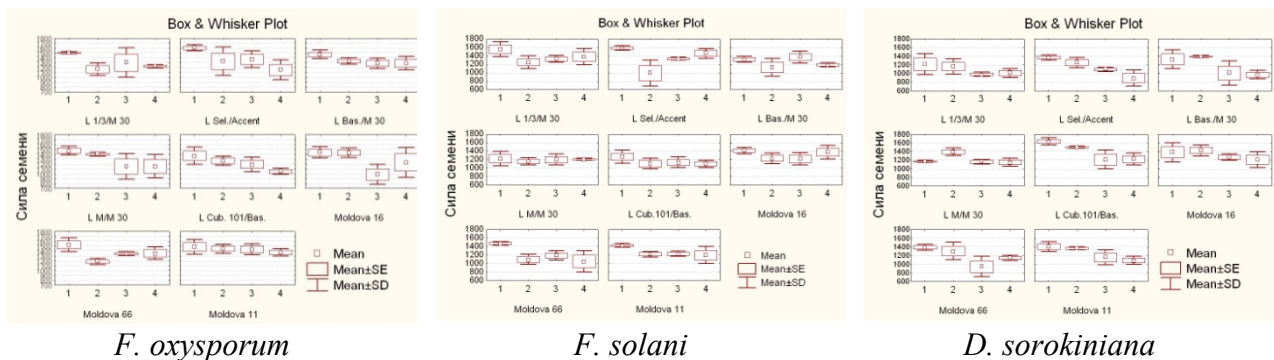


Рис. 2. Влияние почвенных грибов на силу семени пшеницы

Например, при обработке зерен КФ1, КФ2, КФ3 гриба *F. oxysporum* сила семени снизилась на 13,3...22,5% у L 1/3/M30, а у Moldova 11 – на 2,5...7,5%. В случае гриба *F. solani*, КФ 1, КФ 2, КФ 3 вызвали снижение показателя на 11,3...19,5% у L 1/3/M30 и на 13,9...15,9% у сорта Moldova 11. Специфическая реакция генотипов отмечена и в отношении изолятов гриба *D. sorokiniana*. Например, КФ1, КФ2, КФ3 у линии L Sel./Accent вызвали снижение на 8,8; 20,2 и 34,6%, соответственно. Отметим, что КФ1 оказал ингибирующее действие практически у всех генотипов, однако у линии L M/M 30 обусловил стимуляцию на 19,1%.

Согласно средней суммы квадратов (ССК) и вкладу в источнике вариабельности (ВИВ), в реакции генотипов пшеницы на изученные грибы вклад изолята доминировал в источнике вариабельности длины проростка и силы семени и составил 74,7–76,5% для *F. oxysporum*, 38,0–70,3% – для *F. solani* и 64,4–78,0% – для *D. sorokiniana* (табл. 1).

Таблица 1. Факторный анализ влияния взаимодействия пшеница x патогенные грибы на длину проростка и силу семени

Источник вариабельности	Степень свободы	Длина проростка		Степень свободы	Сила семени	
		ССК	ВИВ, %		ССК	ВИВ, %
<i>F. oxysporum</i>						
Генотип	7	5,44	10,91	7	50232	12,07
Изолят <i>F. oxysporum</i>	3	38,15	76,50	3	310644	74,67
Генотип x изолят	21	4,25	8,52	21	31327	7,53
Остаточные эффекты	64	2,03	7,07	64	23835	5,73
<i>F. solani</i>						
Генотип	7	11,76	21,36	7	70116	17,80
Изолят <i>F. solani</i>	3	38,01	69,03	3	276860	70,27
Генотип x изолят	21	3,66	6,65	21	27997	7,11
Остаточные эффекты	64	1,63	2,96	64	19002	4,82
<i>D. sorokiniana</i>						
Генотип	7	13,69	16,50	7	111324	16,06
Изолят <i>D. sorokiniana</i>	3	64,39	77,60	3	540373	77,96
Генотип x изолят	21	3,28	3,95	21	21260	3,07
Остаточные эффекты	64	1,62	1,95	64	20180	2,91

* – $p < 0,05$

Параметры вариабельности и наследуемости длины проростка и силы семени свидетельствуют о том, что генотипическая (σ^2_g) и фенотипическая (σ^2_p) варианты были выше в случае гриба *D. sorokiniana*, чем *F. solani* и *F. oxysporum* (табл. 2).

Таблица 2. Генетическая вариабельность признаков роста и качества пшеницы в реакции на почвенные патогены

Параметр	КФ <i>F. oxysporum</i>		КФ <i>F. solani</i>		КФ <i>D. sorokiniana</i>	
	длина проростка	сила семени	длина проростка	сила семени	длина проростка	сила семени
σ^2_G	1,14	8799	3,38	17038	4,02	30381,3
σ^2_P	3,16	32634	5,01	36040	5,64	50561,3
$h^2, \%$	36,1	27,0	67,5	47,3	71,3	60,1
GCV, %	6,63	7,09	2,25	10,33	13,40	14,22
PCV, %	11,03	13,66	2,74	15,03	15,88	18,35
GAM, %	9,14	8,03	8,61	13,99	21,7	21,08

Коэффициент наследуемости в широком смысле слова имел более высокие значения в случае длины проростка (36,1–71,3%), чем в случае силы семени (27,0–60,1%). С другой стороны, коэффициент h^2 был более высоким для обоих

признаков при действии гриба *D. sorokiniana*, чем *F. solani* и *F. oxysporum*. По сравнению с последними двумя грибами, генотипический коэффициент вариации (GCV, %) и генетический прогресс (GAM, %) признаков роста и качества семян был выше в случае гриба *D. sorokiniana*.

Следовательно, сочетание высоких значений коэффициента наследуемости и генетического прогресса для изученных признаков в случае гриба *D. sorokiniana* свидетельствует о значительном вкладе аддитивной генетической вариации в контроле длины проростка и силы семени, что обеспечивает значительные преимущества для селекции растений пшеницы, устойчивых к этому патогену. Ассоциация низких-средних значений этих параметров при реакции на грибы *F. oxysporum* и *F. solani* указывает на значительное влияние патогенов на органы роста и развития и на необходимость отбора устойчивых растений в течение более длительного времени.

Список литературы

1. Алексейчук Г. Н. Сила роста семян зерновых культур и ее оценка методом ускоренного старения – Мн.: Право и экономика, 2009. 44 с.
2. Билай В. И. Фузариоз. Киев: Наукова думка, 1977, 422 с.
3. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982, 550 с.
4. Adeniji O. T. Genetic variation and heritability for foliage yield and yield component traits in edible *Amaranthus cruentus* [L.] genotypes // Bangladesh J. Agril. Res. 2018. 43(3). P. 513–524.
5. Balkan A. Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and quality traits in M2-4 generations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes // Turkish J. of Field Crops. 2018. 23. P. 173–179.
6. Barnett H. L., Hunter B. B. Illustrated Genera of Imperfect Fungi, Fourth Edition. APS Press, 1998, 218 pp.
7. Filho J. M. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective // Sci. agric. (Braz.), 2015, vol. 72, no. 4, 5. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>.
8. Lupașcu G., Gavzer S., 2018, Diversitatea agenților cauzali ai maladiilor de rădăcină la grâul comun (*Triticum aestivum* L.). Conf. Științifică Internațională «Protecția Plantelor în Agricultură Convențională și Ecologică», 10–12 decembrie 2018, Chișinău. Chișinău: Biotehdesign, p. 32–36.
9. Perry D. A. Commentary on ISTA vigour test committee collaborative trials // Seed Science and Technology. 1984. 12, p. 301–308.
10. Pradeep. Seed quality parameters (Germination percentage and seedling vigor index) of rabi sorghum seeds influenced by tice weevil infestation // MOJ Toxicol. 2018. 4. p. 391–396.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА МУЛЬЧИРОВАНИЯ ПОЧВЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРИЗНАКОВ ПРОДУКТИВНОСТИ ТОМАТА

М. Д. Маковей

*Институт генетики, физиологии и защиты растений,
Кишинев, Республика Молдова*

В статье представлены результаты изучения технологических приемов с использованием светлой и черной полиэтиленовой пленок для мульчирования почвы при выращивании томата. Показано их дифференцирующее влияние на показатели признаков определяющих количество и качество урожая томата. Выявлено, что использование черной и светлой пленки ускорило появление всходов на 4–5 дней относительно контроля и повысило полевую всхожесть семян на 11–15%. Отмечено усиление роста вегетативной части растений. Под светлой и черной пленкой растения отличались более высоким стеблем (на 19,7–24,9%), большей площадью листовой поверхности (на 26,0–35,6%), чем в контроле. Общая урожайность растений в этих вариантах исследований была на 57,9% и 42,1% выше, чем в контроле. По массе плодов показатели выше на 16,3% и 37,5% при их товарности 95,4% и 93,8% соответственно.

Ключевые слова: томат, технологический прием, светлая и черная полиэтиленовая пленка, признаки, урожайность

INFLUENCE OF SOIL MULCHING METHOD ON INDICATORS OF TOMATO PRODUCTIVITY TRAITS

Makovei Milania

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,
Chisinau, Republic of Moldova
E-mail: m_milania@mail.ru*

The article presents the results of studying technological techniques using light and black plastic films for mulching soil when growing tomatoes. Their differentiating influence on the indicators of signs that determine the quantity and quality of the tomato crop is shown. It was found that the use of black and light film accelerated the emergence of seedlings for 4–5 days relative to the control and increased the field germination of seeds by 11–15%. There was an increase in the growth of the vegetative part of plants. Under the light and black film, the plants were distinguished by a higher stem (by 19.7–24.9%), a larger leaf surface area (by 26.0–35.6%) than in the control. The total yield of plants in these research variants was 57.9% and 42.1% higher than in the control. By weight of fruits, the indicators are higher by 16.3% and 37.5%, while their marketability is 95.4% and 93.8%, respectively.

Key word: tomato, processing technique, light and black plastic film, signs, productivity

Введение

Успешному производству овощных культур, а в частности томатов в Молдове способствуют условия южного климата. Однако в последние два десятилетия изменение климата и часто повторяющиеся засухи приводят к значительному снижению потенциальной продуктивности сортов и качества урожая. Одной из причин этого является массовое высыхание вегетирующих и генеративных органов растений (Маковой, 2018). Такие растения наиболее подвержены болезням. В связи с этим возникает необходимость комплексного подхода к селекционному процессу с одновременной разработкой агротехнических приемов, которые в неблагоприятных условиях внешней среды позволят сохранить и реализовать потенциальную продуктивность генотипов. Это даст возможность одновременно выращивать томаты, как в рассадной, так и в безрассадной культуре (посев семенами в открытый грунт), в том числе с учетом специфики культивационных сооружений предназначенных для выращивания этих сортов.

Учитывая, что многие вопросы технологии ещё недостаточно изучены, целью наших исследований было изучение влияния особенностей микроклимата, складывающегося под мульчирующими материалами на рост и развитие растений, урожайность и качество плодов непосредственно в процессе селекции новых форм томата.

Материал и методы

Экспериментальным материалом служили перспективные линии томата (Л 11, Л 12, Л 13, Л 15, Л 22 и Л 104), которые впоследствии районированы под названиями MilOranj, MaKrista, Vivat, Matriona и др. В питомнике конкурсного испытания проводилось изучение и анализ влияния разных мульчирующих материалов на рост, и развитие растений. Опыты представлены разными вариантами исследований: 1 – обычный способ выращивания томата в открытом грунте (*контроль*), 2 – мульчирование сеном люцерны, 3 – мульчирование (укрытие) черной пленкой, 4 – мульчирование светлой пленкой. Опыты для каждого варианта исследований закладывались в трехкратной повторности.

Фенологические наблюдения и учеты проводились с момента появления первых всходов и до последнего сбора урожая (UROV, 2012). Статистическая обработка данных проводилась с использованием общепринятых методик (Доспехов, 1979, Excel, 2003).

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования позволили выявить дифференцирующее влияние различных способов мульчирующего материала, на показатели признаков, определяющих количество и качество урожая томата. Изменчивость показателей этих признаков в первую очередь обусловлена температурным режимом поверхностного слоя почвы (10–15 см) под разными мульчирующими материалами. Например, под прозрачной пленкой температура почвы была на 3–9°C выше, чем в контроле, но с увеличением глубины (15 см) она уменьшалась и составляла 2–4°C. В варианте с черной пленкой этот показатель также выше (на 1–4°C), чем в контроле, но потери тепла в ночные часы под прозрачной пленкой значительно выше, чем под черной. Одновременно следует отметить и то, что температура под черной пленкой ниже, но она более стабильна и лучше сохраняется в ночное время.

Надо отметить, что основным достоинством использования полиэтиленовых пленок является их способность предотвращать образование почвенной корки, толщина которой без пленки на поверхности почвы в варианте контроля достигала 1–2 см, а в варианте с сеном люцерны 0,2–0,7 см. В почве под пленкой (в обоих вариантах) длительное время сохраняется рыхлость почвы, способствующая более быстрому и дружному прорастанию семян, а следовательно, и лучшему росту и развитию растений.

Продолжительность предвсходового периода при различных способах мульчирования семян была разной (табл. 1). В контрольном варианте массовые всходы появились на 9-й день после посева. При мульчировании сеном люцерны всходы появились на день раньше, чем в контроле. Использование черной и светлой пленки в качестве мульчирующего материала ускорило появление всходов на 4–5 дней относительно контроля и повысило полевую всхожесть

семян на 11–15%. Это также влияло на усиление роста вегетативной части растений. Под светлой и черной пленкой растения отличались более высоким стеблем (на 19,7–24,9% выше контроля соответственно), большей площадью листовой поверхности (на 26,0–35,6%, чем в контроле). Различия между вариантом контроля и вариантом использования в качестве мульчи сена люцерны не столь значительны. Показатели по высоте стебля выше, чем в контроле на 2,3–7,4%, а площадь листовой поверхности на 3,4–10,3%.

Условия, созданные в начальный период вегетации с применением полиэтиленовых пленок, оказали положительное влияние и на закладку цветков, завязываемость плодов, а также их массу, которые являются основными составляющими продуктивности. Общая урожайность растений изученных линий в этих вариантах исследований была на 42,1% и 57,9% выше, чем в варианте контроля. По массе плодов различия также значительны (табл. 1), при их товарности 95,4% и 93,8%, соответственно. Несколько ниже показатели анализируемых признаков в варианте использования в качестве мульчирующего материала сена люцерны (табл. 1), но они выше, чем в контроле.

Таблица 1. Влияние способов мульчирования (укрытия) на изменение показателей некоторых признаков у томата

Варианты	Появление массовых всходов, дней	Полевая всхожесть семян, %	Средняя масса плода, г	%, к контролю	Урожайность		
					кг/м ²	%, к контролю	%, товарность ПЛОДОВ
Контроль – без мульчирования	9	78	104	100	3,8	100	84,3
Мульчирование сеном люцерны	8	81	110	105,8	4,9	128,9	87,0
Мульчирование светлой пленкой	5	89	121	116,3	5,4	142,1	93,8
Мульчирование черной пленкой	4–5	93	143	137,5	6,0	157,9	95,4

Заключение

Представленные результаты указывают на целесообразность использования в качестве мульчирующего материала светлой и темной полиэтиленовых пленок. Показано, что в результате улучшения теплового и водного режимов почвы в период всходов приводит к ускорению их появления на 4-5 дней, усилению роста вегетативной части растений, которые имели большую листовую поверхность (26,0–35,6%) и листостебельную массу (19,7–24,9%). Условия, созданные в начальный период вегетации, оказали определенное влияние на закладку цветков, завязывание и массу плодов и, как результат повышению продуктивности и качества общего урожая томата.

Выявленная эффективность от использования проанализированных элементов технологии является предпосылкой для выращивания новых сортов томата и в безрассадной культуре.

Список литературы

1. Доспехов Б. А. Методика опытного дела. М.: Агропромиздат, 1979. 416 с.
2. Маковой М. Д. Селекция томата на устойчивость к стрессовым абиотическим факторам с использованием гаметных технологий. Кишинев. 2018. 473 с.
3. Методы статистического анализа – Statistica 7, Microsoft Office Excel 2003.
4. Tomato – UPOV (*Solanum lycopersicum L.*) V 2012 0007 TG/44/11 Rev. Geneva.

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРА РОСТА РЕГЛАЛГ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТРУКТУРУ ПЛОДОВ ГРУШИ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

М. Ф. Маринеску, Л. А. Гавюк, Н. А. Бежан

Институт генетики, физиологии и защиты растений АН Молдовы

Проведены исследования по влиянию комплекса внекорневых обработок природным регулятором роста Реглалг на формирование качественных плодов груши позднесеннего сорта Выставочная. Установлено, что внекорневые обработки повышают качество и лежкость плодов груши при длительном хранении.

Ключевые слова: плоды груши, хранение, Реглалг, структура, биохимия

THE INFLUENCE OF REGLALG GROWTH REGULATOR ON THE BIOCHEMICAL COMPOSITION AND STRUCTURE OF PEAR FRUIT DURING STORAGE

M. F. Marinescu, L. A. Gavyuk, N. A. Bezhan

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,
Academy of Sciences of Moldova*

Pear storability is associated with the cultivar, fruit harvest maturity, and storage conditions. The storage time of winter cultivars extends over several months, particularly in controlled-atmosphere conditions. Fruit quality is influenced by external conditions, for example, temperature, humidity, and fruit health, and by internal factors related to the fruit structure. A particularly important function is ascribed to the structure of the fruit surface layer and the structure of parenchymal cells.

The analyses indicate that firmness and durability of pear fruits are largely influenced by the presence of russeting, the proportion of closed lenticels and the content of starch grains and tannin and phenols compounds. The thickness of the cuticle and presence of epicuticular waxes as well as the number of lenticels and the number and depth of microcracks play a minor role.

The effect of the complex of foliar treatments with the natural growth regulator Reglalg on the formation of high-quality pear fruit of the late autumn variety Vystavochnaya was studied. It has been found that foliar treatments increase the quality and keeping quality of pear fruits during long-term storage.

The presence of semi-crystalline starch (polysaccharides in the form of starch grains) contributes to the maintenance of proper fruit texture. Concurrently, during the ripening period, there is an increase in the activity of enzymes responsible not only for disintegration of carbohydrates but also for degradation of the cell wall (enzymatic degradation and dissolution of protopectins) and increased ethylene production.

Key words: fruit of pear, storability, Reglalg, structure, biochemistry

В последние годы в связи с расширением применения натуральных регуляторов роста, соответствующих требованиям современной агротехнологии, возникла необходимость дальнейшего изучения эффективности их воздействия на процессы роста, урожайность, качество и лежкость плодов, в том числе плодов груши. Эффективность внекорневой обработки плодовых деревьев биологически активными веществами (БАВ) изучается достаточно давно и подтверждена рядом исследований (Иваненко, Зайцева, 2014; 2015; Маринеску и др., 2019). При этом вопросы ее влияния на качество, структуру и биохимический состав плодов, а также на длительность их хранения остаются недостаточно изученными.

Целью данного исследования было выявление влияния регулятора роста Реглалг на структурные и биохимические изменения в перикарпии плодов груши сорта Выставочная в процессе хранения.

Материалы и методика

Объектом исследования служили деревья и плоды груши позднеосеннего сорта Выставочная из плодового сада ООО «Delectar», пос. Онешть, район Хынчешть. Внекорневую обработку проводили 0,05% раствором регулятора роста Реглалг (д. б. н. А. Даскалюк, ИГФЗР АН Молдовы), на фоне подкормки микроэлементами. Применяли две обработки: на 10–12 день после цветения (май) и в фазе интенсивного деления клеток молодых плодов (июнь). Контрольные деревья обрабатывали водой в те же сроки.

Плоды хранили в течение 150 дней, при температуре 2°C в обычной атмосфере (ОА). Опытную партию плодов однократно обрабатывали препаратом Фитомаг (1-метилциклопропен) с нормой расхода: 0,1 г/куб. м.

Анатомические исследования проводили на свежем материале согласно общепринятым методикам. Определение содержания углеводов и титруемых кислот проводили по методике Арасимович В. В., Пономаревой Н. П. (1976).

Результаты и обсуждение

Плоды груши сорта Выставочная, с не подвергшихся листовой обработке деревьев, характеризуются наличием кристаллическо-ламеллярной кутикулы

средней толщины (8–10 мкм), проникающей на 1/2 и более высоты клеток эпидермиса. Толщина структурированного эпикутикулярного воска 2,0–2,5 мкм. Эпидермис (21–25 мкм) – одноклеточный, состоит из прямоугольных клеток с высокой степенью компактизации. Гиподерма состоит из 6–7 рядов тангентально-удлиненных крупных клеток (24,8–26,4 мкм) с толстыми стенками (до 1,7–2,0 мкм). Мезокарпий сформирован из овальных (II подзона) и радиально-удлиненных (III подзона) клеток. Размеры клеток второй подзоны – до 160 мкм, тогда как в третьей они могут достигать 180–380 мкм. Содержание крахмала в плодах при закладке на хранение – 1,96%.

Обработка деревьев регулятором роста природного происхождения Реглалг демонстрирует высокую эффективность и целесообразность ее использования в определенные фазы культуры груши. Данный агротехнический прием повышает завязываемость плодов, их качество и оказывает определенное влияние на потенциальную лежкость плодов груши (Иваненко, Зайцева, 2015).

Обработка Реглалгом показала существенное увеличение числа крахмальных зерен и сохранение их на момент технической зрелости плодов (2,52%).

Применение БАВ Реглалг также визуально уменьшало площадь пробкового слоя на поверхности плода, что способствовало сохранению целостности воскового налета и положительно отразилось на потенциальной лежкости.

Восковой налет у обработанных плодов отличался уплотненной слоистой структурой и практически полным отсутствием зернистых включений. Увеличившийся кутикуловый слой (разница с контролем достигает 1,5–2 мкм) в сочетании с другими компонентами усиливал защитно-покровный комплекс обеспечивал дополнительный барьер от проникновения возбудителей грибных заболеваний и воздействия неблагоприятных внешних факторов (рис. 1).

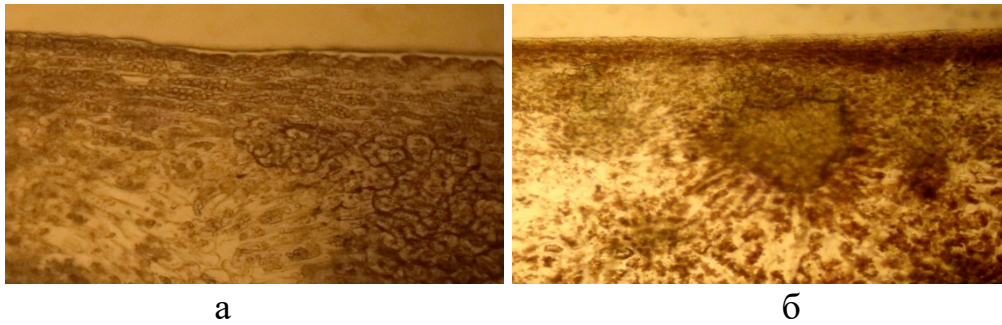


Рис. 1. Восковой налет, кутикула и крахмальные зерна в плодах груши с. Выставочная: а – контроль; б – внекорневая обработка регулятором роста Реглалг

В заложенных на хранение плодах груши в ОА и при обработке Фитомагом, изменения, происходящие в тканях, протекают различными темпами. При хранении в ОА клеточные стенки истончаются и объемы межклетников увеличиваются в большей степени. В процессе длительного хранения плодов имеет место гидролиз крахмала и сахаров (Gherghi et al., 2001). Уменьшается число и размеры крахмальных зерен в мезокарпии. Содержание крахмала к моменту снятия с хранения в ОА составляет 0,12%, у обработанных Фитомагом плодов 0,24%. Обработки Фитомагом, позволяет сохранить целостность воскового налета, исключение составляет зона чашечки, где начало деградации воска наблюдалось после двух месяцев хранения в ОА и через 90 дней в варианте с Фитомагом.

В партиях плодов, обработанных Фитомагом, все биохимические процессы протекают менее интенсивно (Гудковский, 2010).

Преждевременная мацерация тканей, выражающаяся в разрушении срединных пластинок между клеточными оболочками под действием ферментов, тормозится при помощи препарата Фитомаг. При хранении плодов, обработанных указанным веществом клетки основных подзон паренхимы, практически до конца срока хранения сохраняли четкие контуры, при этом ткани плода характеризовались наличием незначительного числа мелких (до 15–20 мкм) межклетников. В то же время образцы, хранившиеся в ОА, характеризовались более интенсивной мацерацией клеток, сопровождающейся увеличением объема межклетников в 15,1–16,2 раза (по сравнению с исходными

значениями) и их размеров (до 55–67 мкм). Одним из наиболее информативных показателей состояния плодов во время хранения принято считать содержание крахмала в клетках II и III подзона паренхимы.

Обработка ингибитором этилена позволила замедлить процессы гидролиза и сохранить содержание крахмала в клетках на более высоком уровне.

Анатомические исследования в полной мере согласуются с данными, полученными при изучении протекающих в плодах биохимических процессов. Внекорневая обработка БАВ Реглалг положительно отразилась на накоплении химических соединений, обеспечивающих качество плодов и их лежкоспособность. Применение данного препарата сопровождалось усилением процесса фотосинтеза и повышенным накоплением ассимилятов в плодах, а также способствовало накоплению сухих веществ, сахаров и витамина С в плодах груши на момент сбора урожая. Общее количество сахаров увеличилась на 1,50%, сухого веса – на 1,65% и витамина С – на 1,27 мг/100 г. по сравнению с контрольными. Сахара, содержащиеся в плодах груши, особенно фруктоза, обладают водоудерживающей способностью, что позволяет говорить о положительном прогнозе при хранении. Обработки способствовали незначительному снижению содержания органических кислот. Соотношение между сахарами и кислотностью (сахарокислотный индекс, который в конечном итоге формирует характерные вкусовые особенности соответствующего сорта (Gherghi et al., 2001) у экспериментальных плодов сахарокислотный индекс увеличивался на 4 единицы, обеспечивая сбалансированный вкус фруктов (рис. 1).

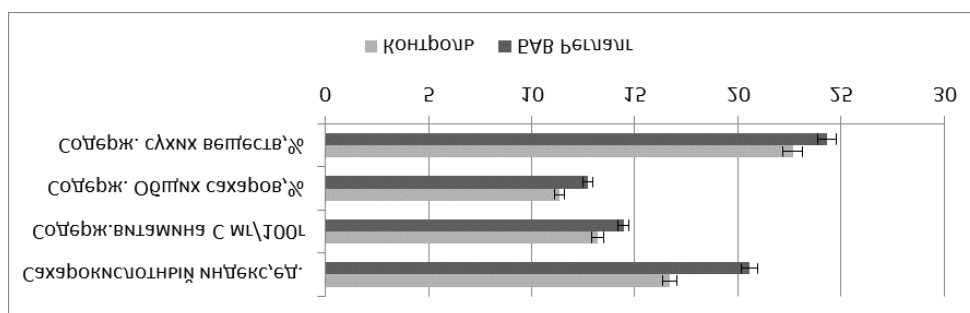


Рис. 2. Накопление химических соединений в плодах груши

В варианте с применением Реглалга зарегистрированы сбалансированные вкусовые свойства, характерные для качественных груш (30–40 ед.).

В конце хранения плодов, обработанных Фитомагом, в опытном варианте содержание сухой массы, витамина С, углеводов и органических кислот было выше, чем в контрольном варианте. При хранении плодов в ОА процессы метаболизма протекали более интенсивно.

Накопление в опытном варианте большего количества запасных питательных веществ на момент закладки на длительное хранение приводит к их количественному избытку в конце хранения по отношению к контрольным плодам (рис. 3), что, по-видимому, обеспечивает повышенную жизнеспособность фруктов.

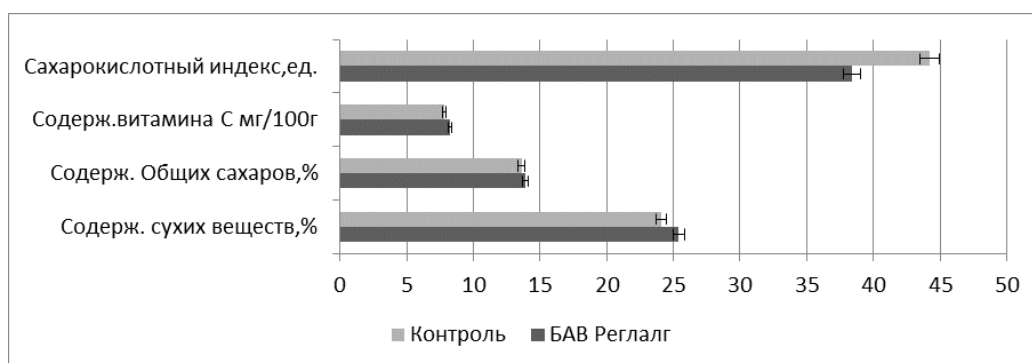


Рис. 3. Влияние внекорневых обработок на расход химических веществ в период хранения плодов груши сорта Выставочная

Результаты влияния послеуборочной обработки Фитомагом на лежкоспособность плодов груши продемонстрировали ее преимущество по сравнению с результатами хранения в ОА (рис. 4).

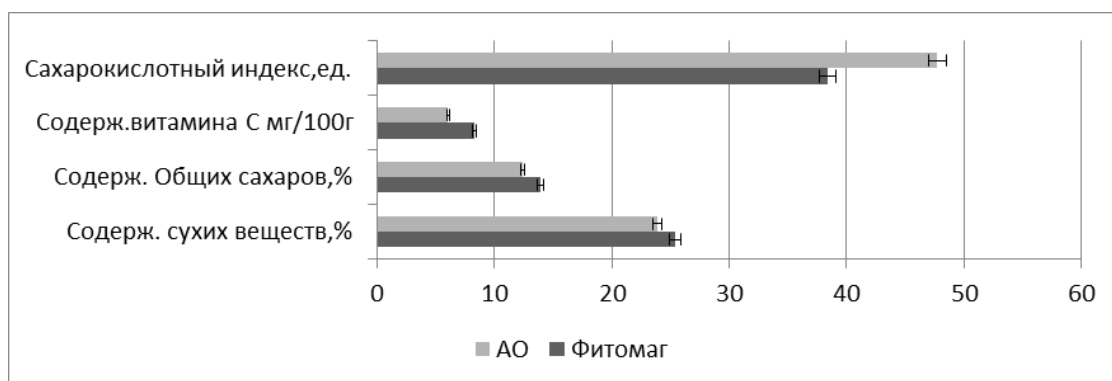


Рис. 4. Содержание химических веществ в плодах к концу хранения, в зависимости от способа хранения

Выводы

1. Выявлено положительное влияние обработок плодовых деревьев груши сорта Выставочная на накопление аскорбиновой кислоты, сухих веществ и сахаров, обеспечивающее более высокое качество плодов.

2. Повышение содержания резервных питательных веществ обеспечивает более высокий потенциал лежкости исследуемых плодов груши, который в полной мере реализуется при хранении с использованием ингибитора синтеза этилена Фитомаг.

3. Сравнение биохимических и анатомических показателей в динамике позволило выявить лучшую сохранность плодов, обработанных Фитомагом, в сравнении с хранением в условиях в ОА.

Список литературы

1. Арасимович В. В., Пономарева Н. П. Обмен углеводов при созревании и хранении плодов яблони. Кишинев: Штиинца, 1976. 106 с.
2. Гудковский В. А. Инновационные технологии хранения плодов / соавт.: Л. В. Кожина и др. // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 8. С. 72–74.
3. Иваненко Е. Н. Влияние микроудобрений и регуляторов роста на продуктивность яблони в аридных условиях Северного Прикаспия / Е. Н. Иваненко, В. А. Зайцева // Проблемы агропромышленного комплекса. 2014. № 4. С. 17–19.
4. Иваненко Е. Н., Зайцева В. А. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста на груше в засушливых условиях Астраханской области / Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. Ульяновск, 2015. № 3 (31). С. 22–25
5. Маринеску М., Гавюк Л., Бежан Н. Влияние некорневого внесения микроэлементов и регулятора роста Реглалг на биохимический состав и структуру плодов груши // Материалы международной научно-практической конференции «Селекция – основа развития интенсивного садоводства» 23-26 июля 2019 г., ФГБНУ ВНИИСПК, г. Орёл «Селекция и сорторазведение садовых культур» 2019, Том 6, № 2. С. 52–55.
6. Gherghi A. și al. Biochimia și fiziologia legumelor și fructelor. București, 2001. Editura Academiei Române. București, 2001. 319 p.

ВЛИЯНИЕ ГРИБОВ *ALTERNARIA ALTERNATA* И *FUSARIUM* SPP. НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ И НАСЛЕДУЕМОСТЬ ПРИЗНАКОВ РОСТА ТОМАТА

Н. И. Михня, Г. А. Лупашку, С. И. Гавзер
*Институт генетики, физиологии и защиты растений,
Республика Молдова, Кишинёв, МД-2002, ул. Пэдурий 20,
E-mail: mihneanadea@yahoo.com.*

В статье представлены данные по реакции ростовых органов растений томата различного эколого-географического происхождения на ранней стадии онтогенеза на культуральные фильтраты (КФ) грибов *Alternaria alternata* и *Fusarium* spp. Выявлена генетическая природа variability и степень наследуемости органов роста и развития томата при взаимодействии с патогенами.

INFLUENCE OF *ALTERNARIA ALTERNATA* AND *FUSARIUM* SPP. FUNGI ON VARIABILITY AND HERITABILITY OF TOMATO GROWTH TRAITS

N. I. Mihnea, G. A. Lupascu, S. I. Gavzer
*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,
Republic of Moldova, МД-2002, Padurii str., 20,
E-mail: mihneanadea@yahoo.com*

The paper presents the results of the appreciation of some tomato varieties and lines from the collection of the Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the Republic of Moldova based on the reaction to fungal pathogens *Alternaria alternata*, *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, the variability and heritability of tomato growth signs. As a result of the analysis of the reaction of tomato genotypes to the culture filtrates (CF) of fungi, it was found that in the most cases they had a negative influence on seed germination. An inhibition of less than 15% in all FCs studied was recorded in the Flacăra, Mary Gratefully and L 10 B genotypes, thus showing interest in the breeding process as possible donors of complex resistance to the seed germination stage. Root and stem growth in the evaluated varieties and lines was most strongly influenced by *F. solani* and *A. alternata*, the average values relative to the control varying within the limits –46.9...–80.3% and –47.1...82.0% for root; –55.0...–84.7% and –61.2...–85.7% – stem. The lowest sensitivity of root and stem to CF was recorded at L 66. A significant effect of CF on the genetic and phenotypic varieties of signs of growth and development of tomato plants, heritability in the broad sense, genotypic and phenotypic coefficient of variation, and genetic progress have been established.

Среди факторов, отрицательно влияющих на продуктивность и качество плодов томата в условиях Республики Молдова, можно отметить такие грибковые заболевания, как фузариозная корневая гниль и альтернариоз. Корневая гниль приводит к задержке роста проростков, пожелтению и

преждевременному опадению семядолей, ослаблению и увяданию растений (Bodah, 2017; Ozbay, Newman, 2004). Альтернириоз проявляется в виде коричневых пятен на листьях, побегах, плодах [Mamgain, Roychowdhury, Tah, 2013). Получение стабильных урожаев овощных культур, в том числе томатов, и снижение потерь из-за болезней и неблагоприятных факторов окружающей среды может быть достигнуто путем создания экологически устойчивых сортов с их высокой пластичностью (Mihnea et al., 2019). Для оптимизации селекционных программ важно определить степень генетического и средового контроля признаков (Nandini et al., 2017). Целью наших исследований было выявить влияние грибов *Fusarium* spp. и *Alternaria alternata* на органы роста и развития растений томата на раннем этапе онтогенеза, степень генетической, фенотипической изменчивости и наследуемости признаков, а также их вариабельность и наследуемость.

Материалом для исследований служили 10 генотипов томата – 6 сортов и 4 линии, среди которых сорта Kristina, Măriuca, Florina, Darsirius – румынского происхождения. Опыты проводились в лабораторных условиях. Для заражения семян были использованы культуральные фильтраты (КФ) грибов *Alternaria alternata*, *Fusarium oxysporum* и *F. solani*, выделенные из корней растений томата с признаками болезни. КФ были приготовлены на основе жидкой среды Чапека. Семена были обработаны КФ в течение 18 час, после чего их трижды ополаскивали дистиллированной водой и помещали на увлажненной бумаге в чашках Петри. Контролем (К) служили растения, выращенные из семян, замоченных в дистиллированной воде. Растения выращивали в течение 6-ти дней при оптимальной температуре (25°C). В качестве тест-параметров послужили всхожесть семян, длина корешка и длина стебелька. Опыт закладывали по схеме двухфакторного анализа в 3-х повторностях. Для определения наследуемости и вариабельности количественных признаков роста томата при взаимодействии с патогенами были исследованы следующие параметры: генетическая (σ^2_g –

genetic variance) и фенотипическая варианса (σ^2_{ph} – *phenotypic variance*), коэффициент наследуемости в широком смысле слова (h^2 – *heritability in broad sense*), фенотипический (PCV,% – *phenotypic coefficients of variation, %*) и генотипический коэффициенты вариации (GCV,% – *genotypic coefficients of variation, %*), генетический прогресс (GA,% – *genetic advance, %*) (Adeniji, 2018; Balkan, 2018). Статистическая обработка данных была проведена в пакете программ STATISTICA 7.

Тестирование реакции растений на обработку семян КФ грибов *A. alternata*, *F. oxysporum*, *F. solani* показало, что под влиянием метаболитов патогенов во всех случаях имело место ингибирование всхожести семян, длины зародышевого корешка и стебелька. При этом реакция растений зависела от генотипа, анализируемого признака и вида грибов. Анализ всхожести семян показал, что линии томата проявили дифференцированную реакцию на культуральные фильтраты (рис. 1).

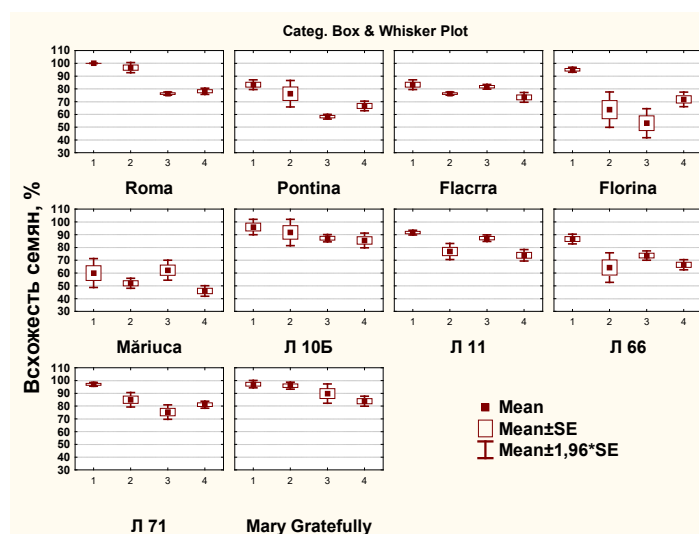


Рис. 1. Влияние культуральных фильтратов грибов *F. oxysporum*, *F. solani* и *A. alternata* на всхожесть семян

По горизонтали: H₂O (контроль); 2. *F. oxysporum*; 3. *F. solani*; 4. *A. alternata*

Например, КФ гриба *F. oxysporum* ингибировал всхожесть семян на 1,6...30,3%, а *F. solani* на 5,8...46,4%. Под влиянием КФ *A. alternata* ингибирование составило 10,0...44,9%. Значительное снижение было отмечено

у сорта Florina (–30,3%) и линии Л 66 (–19,4%), Л 11 (–16,4%) под влиянием КФ *F. oxysporum*. Наиболее устойчивыми оказались сорт Mary Gratefully и линия Л 10Б. По параметру длина корня установлено, что генотипы проявили довольно высокую чувствительность к КФ (рис. 2). Таким образом, КФ вышеупомянутых грибов ингибировали рост корней в пределах 35,0...82,0%. На рост корня сильнее всего повлияли *F. solani* и *A. alternata* – средние значения этих вариантов по отношению к контролю варьировали в пределах –46,9...–80,3% и –47,1...–82,0% соответственно. Сильное ингибирование выявили у линии L 71 и сортов Florina, Flac̄ara в случае КФ гриба *F. oxysporum*. В 8 вариантах из 30 отмечалось снижение роста зародышевого корешка в пределах 35,0...47,9%. Следовательно, генотипы с низкой чувствительностью не были выявлены, но при этом самая низкая чувствительность ко всем КФ отмечена у линии Л 66.

Что касается длины стебелька, его снижение по отношению к контролю варьировало в пределах 48,3...71,1% при обработке семян КФ *F. oxysporum*, 55,0,2...84,7% – КФ *F. solani*, 61,2...85, 7% – КФ *A. alternata*. При этом КФ сильнее всего повлияли на генотипы *F. solani* и *A. alternata*. Например, в варианте с КФ *F. solani* ингибирование составило более 60,0% у всех генотипах, кроме линии Л 66, у которой рост стебелька был подавлен на 55,0%.

С помощью двухфакторного дисперсионного анализа выявлено, что в источнике вариабельности всхожести семян вклад генотипа составил 46,1%, а изолята – 48,6%. Вклад взаимодействий *генотип* × *гриб* в общем источнике вариабельности был всего 4,5% (табл. 1). Это свидетельствует о том, что на всхожесть семян слабо повлияло их взаимодействие с видами гриба *Fusarium* spp. и *A. alternata*.

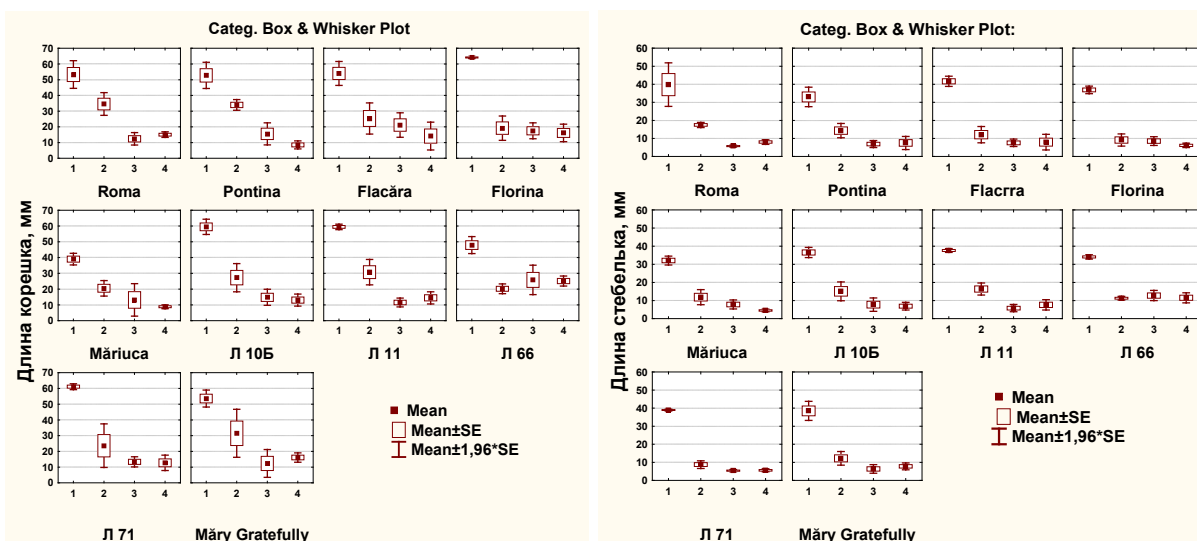


Рис. 2. Влияние культуральных фильтратов грибов *F. oxysporum*, *F. solani* и *A. alternata* на органы роста томата.

По горизонтали: H₂O (контроль); 2. *F. oxysporum*; 3. *F. solani*; 4. *A. alternata*

Таблица 1. Факторный анализ вариабельности всхожести семян томата при взаимодействии с грибными патогенами

Источник вариабельности	Степень свободы	Средняя сумма квадратов	Вклад в источник вариабельности, %
Генотип томата	9	1524,5*	46,1
Изолят	3	1608,2*	48,6
<i>Генотип</i> × <i>изолят</i>	27	148,3*	4,5
Остаточные эффекты	80	26,6	0,8

Установлено, что вклад генотипа, изолята гриба и их взаимодействия в источнике вариабельности признака длины корешка составили 0,8; 97,9; 1,0%, стебелька – 0,3; 99,2; 0,3%, соответственно (табл. 2). Таким образом, для роста корешка и стебелька наибольшее значение имеет фактор изолята гриба (97,9–99,2%). Установлено, что генетическая (σ^2_g) и фенотипическая (σ^2_{ph}) вариансы были намного выше в случае длины корешка, чем стебелька (табл. 3). Низкий коэффициент наследуемости в широком смысле слова ($h^2 = 0,33-0,26$) свидетельствует о незначительной наследуемости изученных признаков при взаимодействии с патогенами. Разница PCV-GCV для корешка была 11,0% для стебелька 10,7%, что свидетельствует о довольно значительном влиянии среды, т. е. гриба на изученные признаки.

Таблица 2. **Факторный анализ варибельности органов роста томата при взаимодействии с патогенами**

Источник варибельности	Степень свободы	Длина корешка		Длина стебелька	
		средняя сумма квадратов	вклад в источник варибельности, %	средняя сумма квадратов	вклад в источник варибельности, %
Генотип томата	9	86,86*	0,8	18,83*	0,3
Изолят	3	10366,06*	97,9	5948,81*	99,2
<i>Генотип × изолят</i>	27	99,57*	1,0	19,52*	0,3
Остаточные эффекты	80	34,95	0,3	9,15	0,2

* – $p < 0,05$.

Что касается всхожести семян, варианты σ_g^2 и σ_{ph}^2 были высокими. Коэффициент h^2 также был высоким: 0,95, что свидетельствует о значимости генетической детерминированности признака, независимо от действия грибов. Сравнительно высокий генетический коэффициент вариации (28,5%) доказывает генетическую природу варибельности. Разница между PCV и GCV составила 0,7%, отражающая таким образом слабое влияние гриба на всхожесть семян.

Таблица 3. **Генетическая варибельность и наследуемость органов роста томата при реакции на *Fusarium* и *A. alternata***

Параметр	Длина корешка	Длина стебля	Всхожесть семян
σ_g^2	17,3	3,2	499,3
σ_{ph}^2	52,3	12,4	525,9
h^2	0,33	0,26	0,95
GCV, %	15,0	11,0	28,5
PCV, %	26,0	21,7	29,2
PCV – GCV, %	11,0	10,7	0,7
GA, %	43,3	42,0	35,9

В результате проведенных исследований было выявлено, что реакция растений томата (оцениваемая по параметрам всхожесть, рост корешка и стебелька) на КФ *F. oxysporum*, *F. solani* и *A. alternata* в контролируемых условиях была различной и зависела от органа роста генотипа и вида гриба. Установлено, что взаимодействие растений томата с грибами *Fusarium* spp. и *A. alternata* в сильной степени влияет на генотипическую и фенотипическую вариабельность, а также на наследуемость органов роста и развития.

Сочетание довольно низких значениях h^2 с высокими значениями GA, в %, в случае длины корешка и стебелька свидетельствует о возможном вовлечении неаддитивных генов в наследуемость этих признаков, а сочетание высоких значений указанных генетических параметров в случае всхожести семян – о аддитивном контроле признака.

Библиографический список

1. Adeniji O. T. Genetic variation and heritability for foliage yield and yield component traits in edible *Amaranthus cruentus* [L.] genotypes // Bangladesh J. Agril. Res. 2018. 43(3). P. 513–524.
2. Balkan A. Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and quality traits in M2-4 generations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes // Turkish J. of Field Crops. 2018. 23. P. 173–179.
3. Bodah E. T. Root rot diseases in plants: a review of common causal agents and management strategies // Agri Res & Tech: Open Access J. 2017. Vol. 5. Issue 3. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2017.04.555661.
4. Mamgain A., Roychowdhury R., Tah J. Alternaria pathogenicity and its strategic controls // Research J. of Biology. 2013. Vol. 1. P. 1–9.
5. Mihnea N., Lupaşcu G., Gavzer S. et al. Influence of the *Alternaria alternata* and *Fusarium* spp. culture filtrates on the growth of the tomato plants in early ontogenesis. International Conference «Agriculture for Life, Life for Agriculture». Horticulture, Bucureşti. Vol. LXIII. Nr. 1. 2019. P. 411–416.
6. Nandini B., Gangappa E., Rajanna M. P. et al. Genetic Variability Analysis for Grain Yield and its Components Traits in Traditional Rice Varieties (TRVs) // Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2017. 6(8). P. 494–502.
7. Ozbay N., Newman S. E. Fusarium Crown and Root Rot of Tomato and Control Methods // Plant Pathology J. 2004. Vol. 3 (1). P. 9–18.

ОЦЕНКА ГЕНОТИПОВ ИЗ КОЛЛЕКЦИЙ КУНЖУТА (*SESAMUM INDICUM L.*) ПО ПАРАМЕТРАМ ПРОДУКТИВНОСТИ

А. А. Могылда, А. И. Ганя

*Институт генетики, физиологии и защиты растений,
Республика Молдова (IGFPP)*

В статье представлены данные о распределении 40 генотипов из коллекции кунжута по классам в зависимости от продуктивности растений. При проведении сравнительного анализа в 2018 году была зарегистрирована более высокая продуктивность всех образцов (5,19–14,6 г), в сравнении с 2019 годом, когда этот признак варьировал в пределах 3,56 – 10,16 г. Также была изучена корреляция наиболее продуктивных образцов (класс I) по количеству коробочек на растении, количеству семян в коробочке и массе 1000 семян.

Ключевые слова: Кунжут, продуктивность, коэффициент корреляции, сравнительный анализ.

EVALUATION OF THE GENOTYPES FROM SESAME COLLECTIONS (*SESAMUM INDICUM L.*) BY PRODUCTIVITY PARAMETERS.

A. A. Mogîlda, A. I. Ganea

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,
Republic of Moldova (IGFPP)*

The article presents data on the distribution of 40 genotypes from the sesame collection in classes by productivity per plant. When performing the comparative analysis, the year 2018 registered higher productivity for all samples of 5,19–14,6 g, than the year 2019, the values of which were between 3.56 - 10.16 g. The common genotypes that are found in the three classes (2018-2019) are the following: Cluster I – Наташа, Юбилейный; Cluster II – Zaltsadovski, Кубанец 57, Гусар 16 – К-1748 Солнечный, Адаптованный 2, 20 – Кубанец 55 and Cluster III – BiolSadovski, N162/0781, Ташкентский 122, Кондитерский 2058, VNIIMC-889, VNIIMC-1, Margo, Delco, Серебристый, UCR/82 n 209-SUAT, Oro Shot. Also, the most productive samples (class I) were correlated according to the number of capsules per plant, the number of seeds per capsule and mass of 1000 seeds. The highest productivity and correlation from moderate to strong in 2018 were at Джерело, Блискучий, Наташа, К – 1550 Донской белосемянный, Лидер, Юбилейный, ZaltSadovzriand in 2019 they were registered at the samples of Наташа, Кубанец 93, Liano, Юбилейный.

Key words: Sesame, productivity, correlation coefficient, comparative analysis.

Введение

Кунжут (*Sesamum indicum L.*) ($2n = 26$) является представителем семейства *Pedaliaceae* и возделывается в качестве масличной культуры на протяжении более 5500 лет. (Bedigian, Harlan, 1986; Rajendra, Chandrashekhar, 2016). Семена кунжута обладают высокой питательной ценностью благодаря высокому содержанию масла (48–63%), белка (16–19%) и углеводов (16–18%). Растущий

интерес к этой культуре обусловлен наличием в семенах сезамолина, сезамола и токоферола, которые обладают важными антиоксидантными свойствами для здоровья человека. (Mohamed, Awatif, 1998; Збраилова и др., 2018). Кроме того, кунжут может быть переработан в продукты для различного использования, такие как продовольственное масло, пасту и кондитерские изделия. Его масло можно использовать в медицине и косметике, при производстве красок, мыла, смазок и растворителей (Akhila, Beevu, 2015). Химический состав кунжутного масла характеризуется высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, олеиновой (41%) и линолевой. (45%), которые не содержат антипитательных или токсических соединений (Hiremath, Patil, 1999; Yazicoioglu, Karaali, 1983). Общая площадь кунжута, добываемого в мире, составляет около 11,7 млн. га при годовом объеме производства более 6 млн. тонн (ФАО, 2018).

Кунжут считается культурой теплых тропических и субтропических регионов (Ashri, 2010), однако ее распространение в более умеренные зоны возможно благодаря выращиванию подходящих сортов. Эффективность сорта часто варьирует в зависимости от условий окружающей среды, поэтому необходимо определить стабильные, перспективные и более продуктивные сорта и генотипы в конкретном районе возделывания. Отсутствие адекватных генотипов, а также недостаточная агрономическая практика для фермеров является фактором, влияющим на продуктивность кунжута. Таким образом, определение сортов с более высокой урожайностью и методов выращивания может быть отражено в эффективной стратегии отбора. Данное исследование было проведено с целью сравнения продуктивности образцов кунжута и выявления наиболее эффективных генотипов в течение двух лет исследований в агроклиматических условиях Республики Молдова.

Материал и методы

Материалом для исследований послужили 40 генотипов *Sesamum indicum* из коллекции Лаборатории генетических ресурсов растений. Посев в 2018 году был проведен во второй декаде апреля, а в 2019 году – в первой декаде мая по схеме 60×10 см. Каждый образец высевали на площади 4,5 м².

В течении всего вегетационного периода проводили фенологические наблюдения, описание коллекционных образцов осуществляли в соответствии с

международным дескриптором кунжута (IPGRI, 2004) по 28 наиболее важным параметрам.

Для статистической обработки полученных экспериментальных данных использовали программный пакет Statistics 8.0.

Результаты и обсуждения

Генотипы кунжута были разделены на группы на основе кластерного анализа по признаку продуктивности, отмеченной в 2018-2019 гг. В зависимости от полученных результатов каждый генотип был включен в соответствующий кластер (рис. 1).

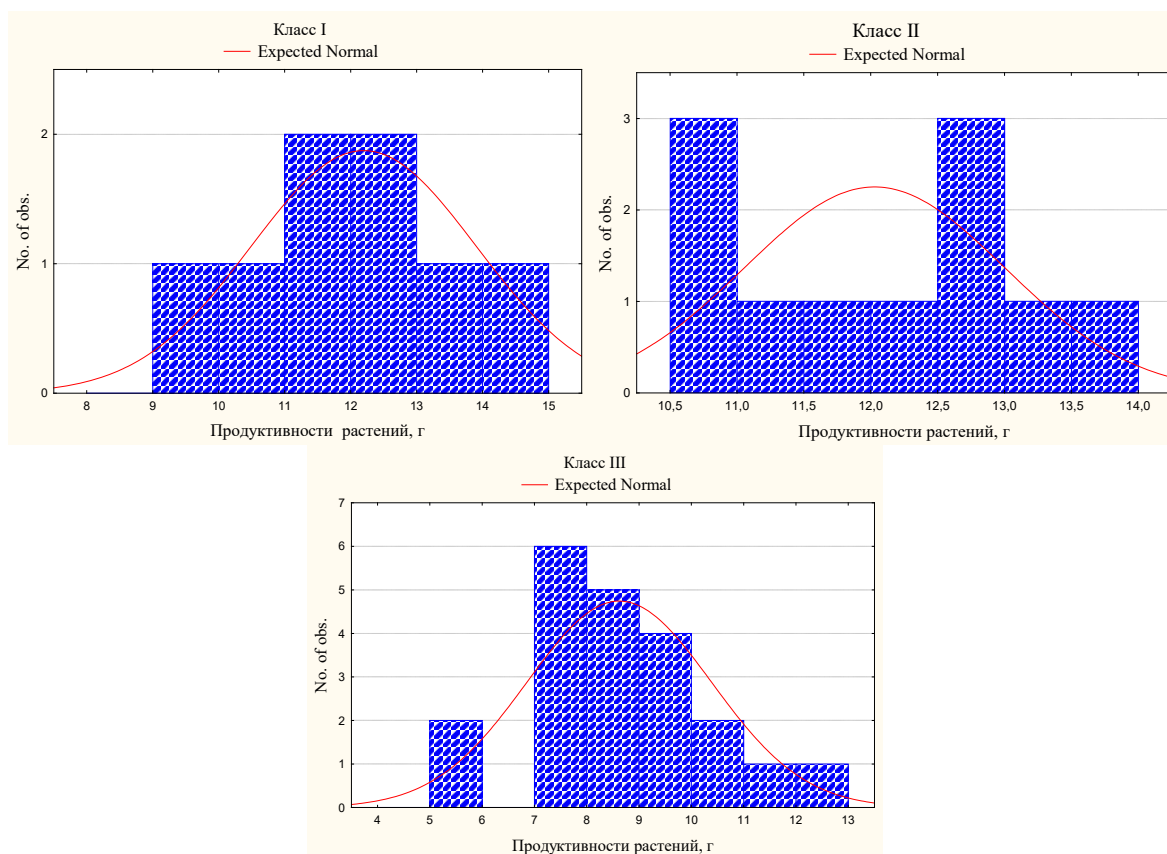


Рис. 1. Распределение генотипов кунжута по классам на основе кластерного анализа (средние – k) по параметру продуктивности растений (2018 г.).

Кластер I – Белосемянный 177, Блискучий, к – 1550 Донской белосемянный, ZaltSadovzri, Юбилейный, Наташа, Лидер, Джерело; Кластер II – Кубанец 55, L₂, Адаптованный 2, Кубанец 57, Zaltsadovski, к-1748 Солнечный, Гусар, Liano, к-

1621, L₁; Кадет; Кластер III – VNIIMC-1, N162/0781, Delco, Ташкентский 122, Margo Tall, Кондитерский2058, Margo, K-1555, BiolSadovski, VNIIMC-889, Манжурский улучшенный, Oro 9/71, UCR/82 n 209-SUAT, Боярин, Серебристый, Oro Shot, K – 1265, Кубанец 93, Dulce, Cumhuriyet 99, K-1257.

На основе классификации генотипов кунжута обнаружено, что в 2018 году отмечены самые высокие значения продуктивности растений генотипов кластера I. При сопоставлении (Доспехов, 1985) урожайности с количеством коробочек на растении, количеством семян в коробочке и массой 1000 семян обнаружено, что коэффициент корреляции сильно различался у генотипов, образующих кластер:

а) Количество коробочек на растении. Было отмечено, что среди 8 генотипов из кластера I, семь генотипов проявили сильную корреляцию (0,70–0,87) Джерело, Блискучий, Наташа, к – 1550 Донской белосемянный, Лидер, Юбилейный, ZaltSadovzri, а у сорта Белосемянный 177 наблюдалась слабо выраженная отрицательная корреляционная зависимость (–0,36). Количество коробочек у этих форм варьировало от 54 до 75 шт.

б) Количество семян в коробочке. По этому признаку генотипы Джерело, Блискучий, к – 1550 Донской белосемянный, Юбилейный, ZaltSadovzri отмечали сильную корреляционную зависимость (0,70–0,91), у Наташа и Лидер – умеренную корреляцию (0,54–0,69), а у сорта Белосемянный 177 не обнаружена корреляционная зависимость между данными признаками (–0,36). У наиболее продуктивных генотипов в коробочке насчитывалось 55–68 семян.

в) Масса 1000 семян в 6 генотипах составляла от 2,72 до 4,15 г, и у 2 генотипов – Белосемянный 177, Юбилейный – 2,55 и 2,69 г(соответственно).

Образцы Джерело, Блискучий, Наташа, К – 1550 Донской белосемянный, Лидер, Юбилейный, ZaltSadovzri были отмечены корреляцией от умеренной до сильной и с высокими значениями параметров.

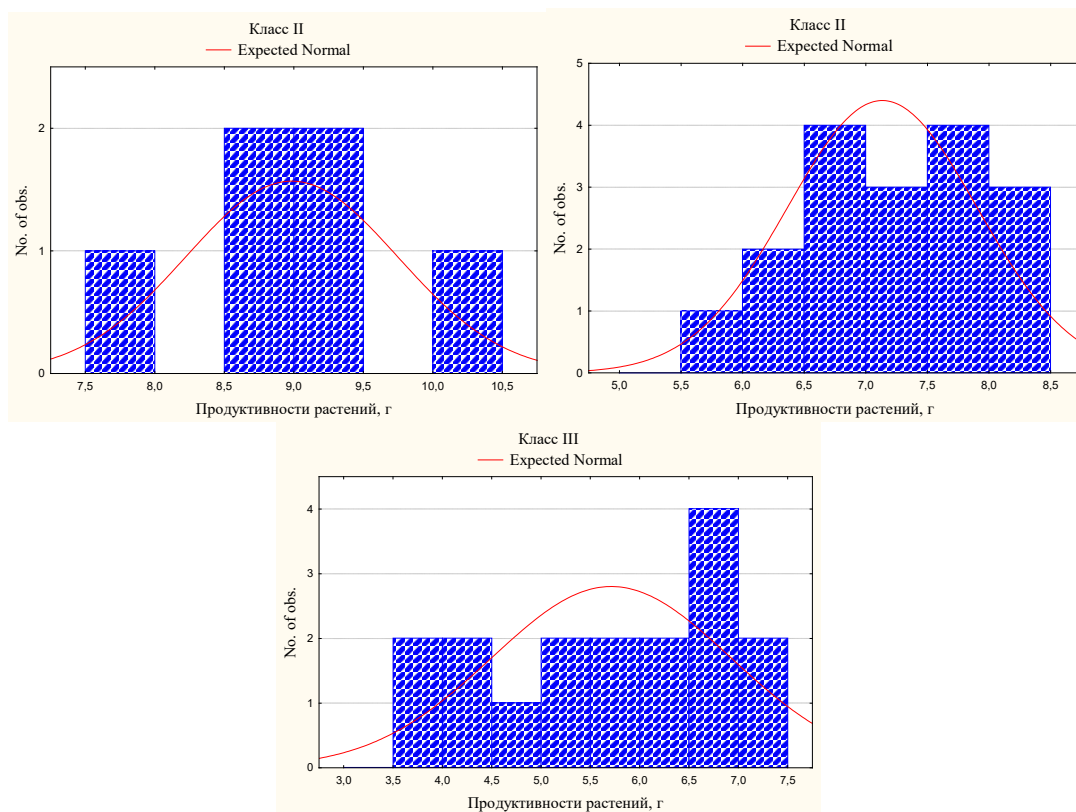


Рис. 2. Распределение генотипов кунжута по классам на основе кластерного анализа (средние – к) по параметру продуктивности растений (2019 г.).

Кластер I – Кубанец 93, к-1257, Юбилейный, Наташа, Liano, L₁. Кластер II – Margo Tall, к-1555, Манжурский улучшенный, Кубанец 57, Гусар, Блискучий, Боярин, Oro 9/71, к – 1265, Zaltsadovski, Лидер, Адаптованный 2, Кубанец 55, ZaltSadovzri, к-1748 Солнечный, Dulce, Cumhuriyet 99, Кластер III – N162/0781, VNIIMC-1, Кондитерский 2058, UCR/82 n 209-SUAT, Ташкентский 122, Margo, Delco, VNIIMC-889, BiolSadovski, Белосемянный 177, Oro Shot, к – 1550 Донской белосемянный, L₂, Серебристый, к-1621, Кадет, Джерело.

В случае распределения генотипов кунжута по классам на основе параметра продуктивности растений в условиях 2019 года наибольшие значения были также зарегистрированы в кластере I, средний показатель признака составил 8,98 г.

а) Количество коробочек на растении. Следует отметить, что у всех 6-ти генотипов из кластера I обнаружена сильная корреляция количества коробочек на

растения с продуктивностью (0,75–0,91). При этом количество коробочек составляло от 43 до 57 штук.

б) Количество семян в коробочке. У генотипов Наташа, Кубанец 93, Liano, Юбилейный обнаружена средняя степень корреляции (0,37–0,66) между количеством семян в коробочке и продуктивностью, а у – L₁, к-1257 слабая положительная корреляция (0,06–0,28).

в) Масса 1000 семян в кластере I составляла от 2,38 до 3,04 г.

У образцов Наташа, Кубанец 93, Liano, Юбилейный была отмечена средняя и сильная корреляция с продуктивностью.

Таким образом, на основе кластерного анализа выявлено распределение 40 генотипов кунжута по группам в зависимости от их продуктивности в конкретных условиях окружающей среды. При проведении сравнительного анализа в 2018 году была отмечена более высокая продуктивность (5,19–14,6 г.) для всех образцов в сравнении с 2019 годом, когда показатели по этому признаку варьировали в пределах 3,56–10,16 г. В общих классах (2018-2019) были обнаружены следующие образцы: Кластер I – Наташа, Юбилейный; Кластер II – Zaltsadovski, Кубанец 57, Гусар, к-1748 Солнечный, Адаптованный 2, Кубанец 55 и Кластер III – BiolSadovski, N162/0781, Ташкентский 122, Кондитерский 2058, VNIIMC-889, VNIIMC-1, Margo, Delco, Серебристый, UCR/82 n 209-SUAT, Oro Shot.

Выводы

1. Распределение генотипов кунжута по классам подчеркивает широкую вариабельность их продуктивности, что дает возможность проводить отбор наиболее продуктивных форм в различных агроклиматических условиях.

2. Кластерный анализ позволил выделить в 2018 году набор из 8 генотипов, а в 2019 году – набор из 6 образцов, которые оказались более продуктивными.

3. Установлена положительная корреляционная зависимость между основными количественными признаками и продуктивностью, за исключением

сорта Белосемянный 177, у которого в 2018 году обнаружено отрицательное значение коэффициента корреляции параметра количество коробочек на растении и количества семян в коробочке с продуктивностью.

4. Полученные данные показали, что 2018 год был более благоприятным для реализации потенциала продуктивности кунжута в сравнении с 2019 годом.

Список литературы

1. Akhila H, Beevy S. S. Quantification of seed oil and evaluation of antioxidant properties in the wild and cultivated species of *Sesamum* L. (Pedaliaceae), *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, Vol. 7, Issue 9, 2015. ISSN 0975-1491
2. Ashri A. Sesame breeding. In *Plant Breeding Reviews*. Volume 16. Edited by: Janick J. Oxford: John Wiley, 2010 ISBN 978-0-470-65010-3
3. Bedigian D. and Harlan J. Evidence for cultivation of sesame in the ancient world. *Econ. Bot.*, 1986, pp. 137–154.
4. Hiremath S. C, Patil C. G. Genome homology and the putative progenitor of sesame. *J. Cytol and Genet.* 1999, pp. 69–74.
5. Mohamed H. M. A and Awatif I. I. The use of sesame oil un-saponifiable matter as a natural antioxidant. *Food Chemistry.* 1998, pp. 269–276.
6. Rajendra B. Pujar, Chandrashekhar G. Patil. Analysis of genetic diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm using RAPD markers and disease resistance screening through RGA markers. *Asian Journal of Biological and Life Sciences.* Vol. 5, 2016, pp. 282–290.
7. Yazicoioglu K., Karaali A. On the fatty acid composition of Turkish vegetable oils, *Fette, Seifen, Anstrichmittel.* 1983, pp. 23–29.
8. Descriptors for Sesame (*Sesamum* spp.). IPGRI and NBPGR. 2004, 63 p. ISBN 92-9043-632-8.
9. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT, 2018). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> доступно: 16.03.2020
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва, Агропромиздат, 1985. 351 с.
11. Збраилова Л. П., Картамышева Е. В., Лучкина Т. Н., Лобунская И. А. Варьирование признаков коллекционных образцов кунжута. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, т. 20, № 2(4), 2018, 657-661 с УДК 633.853.74, 2018.

АНАЛИЗ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА АДАПТИВНЫХ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО

П. Н. Николаев, О. А. Юсова

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский Аграрный научный центр»,
644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26,
E-mail: ksanajusva@rambler.ru, nikolaevpetr@mail.ru*

Цель исследования – определение сопряженности параметров адаптивности сортов ячменя ярового с урожайностью и основными показателями качества зерна. Исследования проведены с 2011 по 2019 гг. в условиях южной лесостепи Западной Сибири. С повышением стабильности (σ_d^2) сортов увеличивалось содержание крахмала ($r = 0,429$) и сырого жира в зерне ($r = 0,656$); снижались урожайность ($r = -0,204$), содержание белка ($r = -0,399$) и пленчатость зерна ($r = -0,447$).

ANALYSIS OF YIELD AND GRAIN QUALITY OF ADAPTIVE VARIETIES OF SPRING BARLEY

Nikolayev P.N., Yusova O. A.

*FSBSI «Omsk Agrarian Scientific Center»,
644012 Omsk, pr. Koroleva, 26*

E-mail: ksanajusva@rambler.ru, nikolaevpetr@mail.ru

The purpose of the study is to determine the correlation of adaptive parameters of spring barley varieties with productivity and the main indicators of grain quality. The research was conducted from 2011 to 2019 in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. With increasing stability of varieties, the content of starch ($r = 0.429$) and raw fat in the grain ($r = 0.656$) increased; the yield ($r = -0,204$), the protein content ($r = -0,399$) and the film content of the grain ($r = -0,447$) decreased.

Введение

В связи с глобальными климатическими изменениями, особую актуальность приобретает проблема создания и использования в сельскохозяйственном производстве сортов с повышенными приспособительными качествами (Сурин и др., 2015), что является ключевым фактором для стабильного увеличения как урожайности, так и качества сельскохозяйственной продукции.

Яровой ячмень – ключевая зернофуражная и кормовая культура (Полонский и др., 2018), которая формирует повышенную урожайность (по сравнению с иными зернофуражными культурами) за счет скороспелости и засухоустойчивости (Rapacz et al., 2012).

Однако, взаимосвязь адаптивности сортов с показателями качества зерна сельскохозяйственных культур и, в частности, ячменя ярового, изучена недостаточно.

В связи с вышеизложенным, цель исследования – определение сопряженности параметров адаптивности сортов ячменя ярового с урожайностью и основными показателями качества зерна.

Материал и методы исследований

Экспериментальная часть работы проводилась в течение 2011–2019 гг. на опытных полях Омского аграрного научного центра (г. Омск), расположенных в южной лесостепи Западной Сибири.

Объектами исследований являлись 13 сортов ярового ячменя селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» (ФГБНУ СибНИИСХ), включенные в Госреестр по Западно-Сибирскому (10) региону.

Определены биохимические показатели качества зерна (Плешков, 1985), проведена математическая обработка данных (Доспехов, 2011), (Eberhart, Russell, 1966).

Периоды исследований с 2011 по 2019 гг. характеризовались контрастными условиями, что характерно для резко-континентальных условий Омской области. Периоды вегетации 2011 и 2014 гг. отмечены, как засушливые (ГТК = 0,90 и 0,92), 2015 г. – сухой и холодный (ГТК = 0,70), 2013 г. – достаточно увлажненный (ГТК = 0,99). По средним температурам на протяжении всего периода исследований наблюдался недобор (–6,9...–0,4 °С) по сравнению со среднемноголетними данными.

Результаты и их обсуждение

Урожайность является основополагающим агрономическим показателем, определяющим результативность любых исследований (Hill, Li, 2016; Николаев и др., 2019; Николаев и др., 2019). Это интегральный признак, выражение которого зависит от многочисленных составляющих: абио- и биотических

показателей, условий интенсификации земледелия, сортовых особенностей возделываемой культуры. В современных агроэкологических условиях, вследствие недостаточной стрессоустойчивости растений, потенциальная урожайность сельскохозяйственных культур реализуется крайне слабо – от 25 до 40% (Рыбась, 2016). Улучшить данный фактор возможно путем более эффективного использования ресурсовосстанавливающей роли сорта, которая оказывает непосредственное влияние на потенциальную продуктивность, но, в настоящий момент, слабо изучена (Varga et al., 2015).

Минимальная урожайность ярового ячменя наблюдалась в 2012 г. (2,23 т га⁻¹ в среднем по культуре, при самых низких значениях индекса условий окружающей среды $I_j = -2,00$). У стандартных сортов ячменя урожайность варьировала от 1,25 т га⁻¹ (Омский 99) до 2,22 т га⁻¹ (Омский 95).

Максимальная урожайность составила 5,63 т га⁻¹ в 2019 г. ($I_j = 1,57$). Урожайность стандартных сортов изменялась от 5,05 т га⁻¹ (Омский голозерный 2) до 5,97 т га⁻¹ (Омский голозерный 1).

В среднем за период исследований, в самой многочисленной группе двурядных пленчатых, достоверно превышали стандарт по урожайности сорта Сибирский авангард, Саша, Подарок Сибири и Омский 100 (+0,47...+1,97 т га⁻¹).

Глобальные климатические изменения, безусловно, являются одним из факторов снижения производительности зерновых культур (Chayka et al., 2013). В связи с чем особую актуальность приобретает проблема создания и использования в сельскохозяйственном производстве сортов с повышенными приспособительными качествами (Сурин и др., 2015), что является ключевым фактором для стабильного увеличения как урожайности. Интенсивность процессов изменений климата диктует необходимость исследований сортов на предмет их адаптивности.

Таблица. Выраженность и изменчивость урожайности сортов ячменя ярового, т га⁻¹

Сорт	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Xi	bi	(σ_d^2)
группа многорядных пленчатых сортов												
Омский 99, st.	5,03	1,25	3,37	4,28	5,32	4,08	4,92	2,69	5,79	4,08	0,66	1,45
группа многорядных голозерных сортов												
Омский голозерный 2, st.	4,40	1,32	1,82	3,38	3,71	2,75	3,99	4,84	5,05	3,47	0,89	0,25
Омский голозерный 4	–	–	–	2,28	4,00	2,51	4,42	5,13	5,14	3,91	1,23	2,34
группа двурядных голозерных сортов												
Омский голозерный 1, st.	3,54	1,72	1,63	3,05	4,24	2,10	3,29	5,25	5,97	3,42	1,06	0,29
группа двурядных пленчатых сортов												
Омский 95, st.	5,31	2,22	3,42	4,22	5,91	2,11	5,09	5,27	5,22	4,31	0,93	0,46
Омский 91	4,45	2,39	2,21	3,26	5,25	2,41	2,49	5,53	5,31	3,70	0,95	0,41
Сибирский авангард	5,53	1,94	2,84	3,10	6,24	2,95	2,85	6,73	5,69	4,21	1,22	0,62
Саша	5,68	2,47	3,28	3,26	6,44	4,02	4,54	6,49	6,13	4,70	1,10	0,18
Подарок Сибири	5,66	3,19	3,44	3,36	6,43	3,61	5,16	6,25	7,19	4,92	1,10	0,20
Омский 90	4,62	2,36	2,28	3,65	5,10	1,85	4,19	4,58	4,93	3,73	0,86	0,26
Омский 96	5,43	2,38	2,11	2,98	4,82	3,12	4,69	6,18	5,59	4,14	1,06	0,28
Омский 100	5,82	2,77	3,46	3,72	6,55	3,96	5,28	6,44	5,97	4,68	1,02	0,11
Омский 101	4,66	2,77	3,46	3,72	6,55	3,96	5,01	6,54	5,26	4,66	0,91	0,27
Xj	5,01	2,23	2,78	3,40	5,33	3,03	4,30	5,53	5,63	4,15		
HCP ₀₅	0,50	0,20	0,80	0,94	0,82	1,00	0,95	1,10	0,94	–	–	–
Ij	0,56	-2,00	-1,50	-0,66	1,36	-1,03	0,24	1,47	1,57	–	–	–

Примечание: Xi – среднее по сорту; Xj – среднее по году; Ij – индекс условий окружающей среды; HCP₀₅ – наименьшая существенная разница; st. – стандартный сорт.

Метод S. A. Eberhart, W. A. Russell позволяет оценить сорта по их отзывчивости на условия выращивания путем определения коэффициента регрессии (bi) и дисперсии стабильности (σ_d^2) (Eberhart, Russell, 1966). Считается, что чем выше единицы коэффициент регрессии, тем сильнее отзывчивость сорта на улучшение условий выращивания. Такие сорта требовательны к высокому уровню агротехники, так как только в этом случае они дадут максимум отдачи. В случае, когда коэффициент регрессии меньше, сорта показывают лучшие результаты в неблагоприятных условиях выращивания.

Анализ коэффициентов регрессии позволил все исследуемые сорта по основным показателям качества зерна и продуктивности разделить на три группы:

1. Представлена сортами при $b_i > 1$: Омский голозерный 4, Сибирский авангард, Саша и Подарок Сибири. Данные сорта при улучшении условий выращивания увеличивали урожайность, что соответствует интенсивному типу.

2. Группа при $0,96 < b_i < 1,06$ включает стандарт Омский голозерный 1, а также сорта Омский 91, Омский 96 и Омский 100. Коэффициент регрессии перечисленных сортов близок к единице, что свидетельствует о полном соответствии полученной урожайности изменению условий выращивания.

Стандартные сорта Омский 99, Омский 95 и Омский голозерный 2, а также сорта Омский 91, Омский 90 и Омский 101, у которых отмечен минимальный по опыту коэффициент регрессии ($b_i < 1$), характеризовались слабой реакцией урожайности на улучшение условий выращивания, что соответствует экстенсивному типу.

S. A. Eberhart, W. A. Russell предложили использовать дополнительный параметр, характеризующий степень изменчивости исследуемых сортов, который определяется как отклонение от линии регрессии. Это степень стабильности реакции (σ_d^2), которая является важным параметром оценки генотипов в процессе их изучения (Eberhart, Russell, 1966). Чем ниже σ_d^2 , тем меньше различие между теоретическими и практическими показателями качества, а отсюда – более высокая устойчивость данного признака. Согласно полученным данным, высокой стабильностью характеризовались пленчатые сорта: Омский голозерный 2, Омский голозерный 1, Омский 95, Омский 91, Сибирский авангард, Саша, Подарок Сибири, Омский 90, Омский 96, Омский 100 и Омский 101 ($\sigma_d^2 < 1$).

Современный уровень земледелия еще не может в достаточной степени нивелировать действия неблагоприятных природных факторов. Поэтому сорта должны сочетать хорошую отзывчивость на повышение плодородия и устойчивость к лимитирующим факторам среды (Surin, 2015). Таким образом,

согласно данным наших исследований, высокой отзывчивостью на улучшение условий среды и высокой стабильностью обладали сорта ячменя Сибирский авангард, Саша и Подарок Сибири ($b_i > 1$; $\sigma_d^2 < 1$).

В основном, все исследуемые сорта характеризовались значениями по исследуемым показателям качества на уровне, либо ниже стандартов. Достоверное превышение по масличности зерна отмечено у сортов Омский голозерный 4, Омский 91 и Саша (+0,4...+0,6% к st.). Сорта Омский 91, Сибирский авангард, Омский 90, Омский 96, Омский 100 и Омский 101 отличались пониженной пленчатостью зерна (-0,7...-1,4% к st.).

Согласно корреляционному анализу, в период исследований 2011–2019 гг. тесная прямая сопряженность между показателями качества зерна способствовала тому, что при повышении содержания белка в зерне повышались крахмалистость и пленчатость зерна ($r = 0,523$ и $0,404$). При увеличении содержания крахмала в зерне возрастала масличность зерна ($r = 0,698$). Однако при увеличении урожайности зерна его качественные показатели снижались ($r = -0,449...-0,677$), пленчатость возрастала ($r = 0,578$), при $F_{\text{факт}} > F_{05}$.

Очевидно, в данном случае стоит вести речь о конкуренции при формировании урожайных и качественных показателей зерна, что подтверждается исследованиями других авторов (Сурин и др., 2001).

Повышение пластичности (b_i) сортов ячменя не оказывало существенного влияния на урожайность и качество зерна ($r = 0,109$ и $0,232$), при $F_{\text{факт}} > F_{05}$.

В свою очередь, стабильность (σ_d^2) сортов характеризовалась средней прямой сопряженностью с содержанием крахмала в зерне ($r = 0,429$), сильной прямой – с масличностью зерна ($r = 0,656$). Средняя обратная корреляционная зависимость стабильности (σ_d^2) наблюдалась с белковостью и пленчатостью зерна ($r = -0,399$ и $-0,447$), слабая с урожайностью ($r = -0,204$).

Выводы

1. Повышение пластичности (bi) сортов ячменя не оказывало существенного влияния на урожайность и качество зерна ($r = 0,109$ и $0,232$).

2. С повышением стабильности (σ_d^2) сортов увеличивалось содержание крахмала ($r = 0,429$) и сырого жира в зерне ($r = 0,656$); снижались урожайность ($r = -0,204$), содержание белка ($r = -0,399$) и пленчатость зерна ($r = -0,447$).

Список литературы

1. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Б. А. Доспехов. Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. Москва: Альянс, 2011. 350 с.

2. Николаев П. Н., Юсова О. А., Аниськов Н. И. и др. Агробиологическая характеристика многорядных голозерных сортов ячменя селекции Омского АНЦ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 180(1). № 2019, С. 37–43. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43.

3. Николаев П. Н., Юсова О. А., Аниськов Н. И. и др. Новый среднеспелый сорт ярового ячменя Омский 101 // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 2019. № 180(2). С. 83–88. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-83-88.

4. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1976. С. 144–148.

5. Полонский В. И., Сумина А. В., Шалдаева Т. М. Содержание белков и углеводов в зерне ячменя и овса Сибирской селекции. Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 49–55.

6. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур. Сельскохозяйственная биология. 2016. № 51(5). С. 617–626.

7. Сурин Н. А., Ляхова Н. Е., Герасимов С. А. Комплексная оценка селекционного материала в селекции ячменя на адаптивность в Восточносибирском регионе. Вестник Кемеровского государственного университета. 2015. № 4(64). С. 98–103.

8. Chayka V. M., Rubezhniak I. G., Grib O. G. Effect of Climatic changes on the Productivity of Agrocoenoses and semi-natural forest-steppe ecosystems. Science and Society. 2013. No. 1. P. 192–201.

9. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop. sci. 1966. Vol.6, No. 1. P. 36–40.

10. Hill C. B., Li C. Genetic Architecture of Flowering Phenology in cereals and Opportunities for crop Improvement. Frontiers in Plant Science. 2016, 7 (December 2016). P. 1906. DOI: 10.3389/fpls.2016.01906.

11. Rapacz M., Stepień A., Skorupa K. Internal Standards for quantitative rt-pcr studies of gene expression under drought Treatment in Barley (*hordeum vulgare* L.): the Effects of developmental Stage and Leaf Age. Acta Physiologiae Plantarum. 2012. No. 5(64). P. 1723–1733. DOI: 10.1007/s11738-012-0967-1.

12. Varga B., Vida G., Varga-Laszlo E. et al. Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. Agronomy and Crop Science. 2015. No. 1–9. P. 201. DOI: 10.1111/jac.12087.

ВЛИЯНИЕ БАВ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Н. Н. Платовский, Н. В. Здиорук, Т. Х. Раля

Институт генетики, физиологии и защиты растений Республики Молдова.

В условиях Республики Молдова проанализирован и изучен потенциал продуктивности и адаптивности сортов озимой пшеницы и ржи, а также возможность увеличения этого потенциала от применения биологически активных веществ. По этим параметрам были выделены лучшие сорта, а также определен вклад от применения биологически активных веществ.

INFLUENCE OF BAC ON THE FORMATION OF PRODUCTIVITY AND QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN.

N. N. Platovschii, N. V. Zdioruc, T. H. Ralea

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection Republic of Moldova

In the conditions of the Republic of Moldova, the potential of productivity and adaptability of winter wheat and rye varieties, as well as the possibility of increasing the potential from the use of biologically active substances, was analyzed and studied. According to these parameters, the best varieties were selected, and the contribution from the use of biologically active substances was determined.

Введение

Озимая пшеница относится к одной из главных продовольственных культур, участвующих в формировании ежегодных валовых сборов зерна. За последние 10 лет в Республике Молдова заметно варьировали площади посева и, особенно, уровень урожайности этой культуры. В связи со стремительным изменением климата в сторону повышения температур, становится необходимым исследовать и разрабатывать новые подходы к возделыванию пшеницы для увеличения урожайности в изменяющихся условиях.

Урожайность – это результат компромисса между продуктивностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам среды (Ащцы, 1989). Увеличение производства зерна невыполнимо без широкого и всестороннего использования новейших достижений науки, где ведущая роль уделяется селекции, новым сортам и технологии их возделывания. При возделывании озимой пшеницы по интенсивной технологии нужны сорта интенсивного типа с высокой отзывчивостью на агрофон, устойчивые к полеганию, болезням и вредителям.

Стоит отметить, что особую значимость на рынке имеет высококачественное продовольственное зерно озимой пшеницы с высоким содержанием белка и клейковины, которое улучшает качество хлебопечения для других, менее ценных сортов пшениц, что в целом, решает проблему обеспечения населения продовольствием.

Качество зерна озимой пшеницы – важнейшая составляющая его потребительской стоимости. От качества зерна зависит величина прибыли сельскохозяйственных предприятий (Мельник, Мартынов, 2012). Качество и количество продукции – показатель эффективности любого предприятия, который напрямую зависит от принимаемых в нем технологий. Следует отметить, что в современных условиях добиться заметного повышения качества зерна озимой пшеницы на основе комплексного подхода к разработке и внедрению адаптивных систем земледелия, экологических технологий выращивания с учетом почвенно-климатических условий среды крайне сложно и требует немалых знаний от растениевода. Применяя современные технологии производства сельскохозяйственных культур, не всегда удается добиться ожидаемых результатов, так как вариабельность величины урожая на 70 – 80% обусловлена изменчивостью погодных условий.

Неблагоприятные почвенно-климатические условия – одна из главных причин высокой вариабельности урожайности и качества зерна озимой пшеницы на всей территории Молдовы. В силу этого фактора в растениеводстве остро стоит вопрос о надежности получения высококачественного урожая озимой пшеницы при разных погодных условиях.

Формирование и качество урожая озимой пшеницы напрямую зависит от условий года, а межгодовые колебания этих показателей связаны с их климатической обусловленностью. Многие агротехнические приемы, направленные на повышение урожайности и улучшение качества зерна в неблагоприятных условиях внешней среды, не только не обеспечивают

повышение устойчивости агроценозов к экологическим стрессорам, но и наоборот, усугубляют их негативное последствие.

В период с недостаточной влажностью, как правило, высота растений снижается (Ковтун, Самофалова, 2006). В настоящее время пшеницу принято классифицировать не только по разновидностям и срокам созревания, но и по высоте растений. Классификация по высоте растений озимой пшеницы условно следующая: > 120 см – высокорослые сорта, 120–105 см – среднерослые сорта, 105–85 см низкорослые сорта, 85–60 см полукарлики и менее 60 см – карлики.

Полегание хлебов вызывает значительное снижение урожайности и затрудняет механизированную уборку, в связи с чем особое значение приобретают устойчивые к полеганию сорта озимой пшеницы. Неполегающие сорта имеют более толстый стебель, выше число сосудисто-волокнистых пучков, более толстое склеренхимное кольцо (Логинов, 1977).

Для формирования высокой урожайности качественного зерна озимой пшеницы необходимо добиваться полной реализации адаптивных технологий ее возделывания, направленных на повышение роли природно-биологических факторов: лучшего использования свойств почвы, солнечной энергии, физиологического потенциала растений на основе системного подхода, комплексных агротехнических мероприятий.

Наши исследования были направлены на обоснование применения препарата *Реглалг*, который относится к биорегуляторам роста и обладает специфическим действием подавления роста эпикотила растений пшеницы, тем самым приводя к образованию узла кущения глубже в почве порядка на 1–1,5 см (Platovschii, Zdioruk, 2016).

Объекты и методы проведения исследований

Посев озимой пшеницы проводили на опытном поле Института генетики, физиологии и защиты растений Республики Молдова на обыкновенном черноземе среднесуглинистой почве.

– Предшественник черный пар, норма высева 4,5 млн. семян на 1 га

– За два дня до посева проводили обработку семян биорегулятором роста Реглалг в концентрации: 1/100, 1/200, 1/600, 1/800 и контроль (H₂O), Площадь делянок составляла 20м² в трехкратной повторности.

– Все оценки, наблюдения, учет урожайности выполнены в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. (1995)

– Устойчивость к полеганию в полевых условиях оценивали по пятибалльной шкале: 5 – полегания нет; 4 – слабое полегание; 3 – среднее полегание (стебли наклонены на 45°); 2 – сильное полегание (механизированная уборка затруднена); 1 – очень сильное полегание (машинная уборка невозможна).

– Математически статистическая обработка проводилась в программе Statistica 7.0 по методике Доспехов (Доспехов, 1985).

Результаты исследований

Решающим для повышения урожайности озимой пшеницы метеорологическим фактором в Республике Молдова являются осенне-зимние и ранневесенние осадки, создающие почвенно-глубинные запасы влаги. Важное значение имеют августовские и сентябрьские осадки, обеспечивающие своевременное получение всходов. Для Республики Молдова характерен засушливый климат и осадков выпадает крайне мало, в результате чего образуется засушливый период. В результате таких периодов всходы появляются поздно и до входа в зимний период покоя растения не успевают образовывать достаточную кустистость, в результате чего происходит снижение урожайности. С наступлением весеннего периода с началом роста растений пшеницы также начинается интенсивное испарение влаги из почвы через хорошо сформировавшиеся капилляры. На фоне интенсивного изменения климата в сторону более длительного засушливого периода и увеличения потребности в

урожайности и качестве зерна, становится необходимым разрабатывать новые или модифицировать устоявшиеся агротехнические приёмы путем внедрения новых механизмов и методов, имеющих целенаправленное действие, которое в конечном итоге должно непременно сказаться на увеличении урожайности и качестве зерна.

Как известно, хороший старт – залог успеха. В растениеводстве старт начинается с семян. Многие аграрии стадии работы с семенами уделяют мало внимания, ограничиваясь лишь выбором сорта или гибрида, а также обработке семян инсектицидами и фунгицидами, а основной объем работы концентрируют уже на стадии роста и развития растений, забывая о том, что хорошее развитие определяется во многом «семенами». Именно на стадии подготовки семян можно заранее позаботиться об успешном развитии растений, не только на момент прорастания, а вплоть до самого созревания семян. Помимо таких показателей, как процент всхожести семян, энергия прорастания, дружность всходов при обработке семян различными биологическими регуляторами роста можно добиться различных эффектов, которые непременно будут сказываться на развитии растений. Нами применялся биорегулятор роста *Реглалг*, действие которого направлено на подавление роста подземного штамба «эпикотилия» в результате чего у растений узел кущения образуется на 1–1,5 см глубже в почве (Платовский, Здиорук, 2016). Забегая вперед, можно отметить, что данный эффект имеет высокую значимость для роста растений, так как именно благодаря более глубокому залеганию узла кущения в почву создаются более комфортные условия роста и развития растений. Узел кущения для растений пшеницы имеет высочайшую степень значимости, его гибель означает гибель целого растения. Именно от него зависит рост пшеницы, именно в нем уже первоначально программируется количество междоузлий и листьев, и, самое главное, задолго до начала колошения, еще в процессе прорастания растений, в узле кущения закладывается будущий колос с заранее установленным количеством семян в

колосе. Все это не может оставаться без внимания, так как именно применение методов, направленных на защиту узла кущения и создания благоприятных условий для его развития, может уже в самом начале запрограммировать урожайность, а в дальнейшем, сосредоточиться на её поддержании путем борьбы с вредителями и болезнями. Известно, что высота растений у озимой пшеницы во многом предопределяет проявление тех или других важных хозяйственно-биологических признаков и свойств, так как формирование общей биомассы растений в значительной мере зависит от ее надземной вегетативной части. Одним из критериев оценки продукционного процесса вегетативной массы у злаков есть ее линейные размеры, в первую очередь, определяемые высотой растений (Возиян, Постолати и др., 2014)

Из результатов, приведенных в таблице 1, можно заключить, что лучшую продуктивность сформировали растения пшеницы, полученные из семян, которые перед посевом были обработаны препаратом *Реглалг*. Наилучшим сортом по урожайности озимой пшеницы является сорт Молдова 66. Показатели урожайности растений ржи уступают в несколько раз растениям озимой пшеницы, но, по-прежнему, сохраняется эффект увеличения урожайности от применения препарата *Реглалг*. Наиболее урожайным сортом ржи является линия Z70.

Согласно показателям, которые характеризуют адаптивный потенциал сортов растений по высоте, стоит отметить значительно меньшее варьирование этого признака (коэф. вар. 14,35% при 29,84%) с уровнем продуктивности. Анализ растений по высоте показал, что у короткостебельных растений урожайность на порядок выше. Данная закономерность сохраняется не только на растениях озимой пшеницы, но и на культуре ржи. Данный эффект объясняется за счет рационального распределения между вегетативной и генеративной частями растений в пользу последней.

Таблица 1. Урожайность и высота растений озимой мягкой пшеницы и ржи

Сорта	Варианты	Площадь эксперимента, м ²	Урожайность с площади эксперимента, (кг)	Пересчет урожайности на м ² , (кг)	Пересчет урожайности на га, (т/га)	Высота растений, см
Пшеница						
Молдова 77	Контроль	60	16,74	0,279	2,8	76,3
	Реглалг	40	12	0,300	3,0	74,5
Молдова 11	Контроль	60	15,3	0,255	2,6	77,6
	Реглалг	40	11	0,275	2,8	75,8
Молдова 66	Контроль	60	17,7	0,295	3,0	75,2
	Реглалг	40	12,72	0,318	3,2	73,7
Рожь						
Т34/19	Контроль	60	7,68	0,128	1,3	95,6
	Реглалг	40	7,16	0,179	1,8	92,4
Z70	Контроль	60	10	0,167	1,7	98,7
	Реглалг	40	8	0,200	2,0	97,2

Следует отметить, что формирование высоты растений происходит на протяжении около 80% всей продолжительности вегетации растений озимой пшеницы, и в то же время формирование продуктивности занимает почти весь этот период. Конечно, большое влияние на формирование высоты имеет перепад гидротермических факторов среды, но и угнетенное состояние развития растений от других различных факторов также влияет на формирование длины стебля. Однако, все же на формирование уровня урожайности негативные биологические факторы оказывают большее влияние. Следовательно, можно предположить, что по высоте растений озимой пшеницы и ржи фенотипическая вариабельность меньше в сравнении с продуктивностью. Учет высоты растений не представляет трудностей и не имеет большого количества субъективных факторов. В то время как, объективный учет уровня урожайности может усложниться целым рядом объективных факторов (потери от полегания, прорастание зерна в колосе, влияние болезней, запал зерна при суховеях и

высоких температурах воздуха, механические потери и др.). В некоторых источниках литературы можно встретить, что селекционеры прогнозируют возможность оценки адаптивности сортов по высоте растений более точно, чем по продуктивности (Власенко, Солоня и др., 2007). В нашей работе мы также учитывали данный фактор. Стоит отметить, что у короткостебельных растений урожайность выше, чем у высокорослых растений. По-видимому, у короткостебельного растения более экономно используется сухое вещество, большая часть которого идет на образование зерна в колосе.

Как отмечалось выше благодаря грамотному применению биопрепаратов на самом начальном этапе развития растений, можно добиться значительных конечных показателей, которые непременно отразятся на урожайности, качестве зерна и на экономических показателях. Действие препарата *Реглалг* приводит к увеличению урожайности и качества зерна. Возможно, за счет уменьшения длины подземного штамба, надземный штаб берет свое начало роста с более глубоких горизонтов почвы, что и сказывается на высоте растений. Также за счет образования узловых корней глубже в почве усвоение влаги происходит более длительное время по сравнению с контрольными растениями, таким образом, налив зерна продолжается на два дня дольше, и это непременно сказывается и на урожайности, и на качестве зерна.

Выводы

В заметно меняющихся гидротермических условиях климата республики Молдова сорта озимой пшеницы селекции Института генетики, физиологии и защиты растений Молдовы показывают сравнительно высокий уровень продуктивности и адаптивности к действию абиотических факторов среды. Особенно выделяются сорта озимой пшеницы Молдова 66, Молдова 77.

Оптимальная высота растений в пределах 80–100 см, обеспечивают хорошую устойчивость к полеганию и формирование их высокой продуктивности наряду с другими важными признаками и свойствами.

Благодаря применению биорегулятора *Реглалг* на самых ранних этапах развития растений можно создать оптимальные условия роста и развития растений даже при действии различных неблагоприятных биологических факторов среды.

Благодаря действию препарата *Реглалг* удалось увеличить урожайность растений озимой пшеницы порядка к прибавке урожайности до +200 кг/га.

Список литературы

1. Аццы Дж. Сельскохозяйственная экология / пер. с англ. М.-Л., 1959. 479 с.
2. Возиян В. И., Постолати А. А., Сергей Т. Д., Гэинэ Л. В. Продукционный и адаптивный потенциал различных сортов пшеницы мягкой озимой и влияние условий среды на его уровень. Научно производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры», № 1(9). 2014. С. 100–105.
3. Власенко В. А., Солоня В. И., Федченко Г. В., Середя О. М., Зварун Т. В. Селекція пшениці м'якої ярої.// Селекція, насінництво і технології вирощування зернових колосових культур у Лісцеські України. Київ: Аграрна наука, 2007. С. 425–495.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) 5-е изд. доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. С. 351.
5. Ковтун В. И., Самофалова Н.Е. Селекция озимой пшеницы на юге России: монографи. Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга» 2006. С. 479
6. Логинов Ю. П. Селекционная ценность яровых форм растений, полученных от озимого сорта Безостая 1 // Сибирский Вестник сельскохозяйственных наук. 1977. № 5. С. 27–31.
7. Мельник А. Ф., Мартынов А. Ф. Формирование урожайности и качества зерна озимой пшеницы.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М., 1985. 270 с.
9. Платовский Н. Н., Здиорук Н. В. Активность перекись-расщепляющих ферментов в узле кущения растений тритикале в зависимости от глубины его залегания» / XX Международная Пущинская школа-конференция молодых ученых «Биология – наука XXI века», секция «Физиология растений и фотобиология». С. 359–360. 2016 год.
10. Platovschii N., Zdioruk N., Ralea T. Influența preparatului *REGLALG* asupra activității enzimelor consumătoare de H₂O₂ în nodul de înfrățirea plantelor de triticaie / Biotehnologii avansate-realizări și perspective. Al IV-lea Simpozion național cu participare internațională. Teze 3-4 octombrie 2016, Chișinău, p. 103.

УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ

Е. Н. Пасынкова¹, А. В. Пасынков²

¹ФГБНУ «Ленинградский НИИСХ «Белогорка»»;

²ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Зависимости урожайности зерновых культур от возрастающих уровней минерального питания и гидротермических условий межфазных и всего периода вегетации имеют сложный нелинейный характер и наиболее точно описываются уравнениями второго порядка с четко выраженными точками экстремума или областями оптимума.

YIELD OF GRAIN CROPS AND ITS DEPENDENCE ON HYDROTHERMAL CONDITIONS DURING THE VEGETATION PERIOD

E. N. Pasyunkova¹, A. V. Pasyнков²

¹Leningrad scientific-research institute for Agriculture «Belogorka»;

²Agrophysical research institute

The aim of the research: comparative assessment of multiple regression equations (linear, half-degree and second-order polynomials), reflecting the dependence of the yield of grain crops on the level of mineral nutrition and hydrothermal conditions during the growing season. The criterion for comparative assessment of the accuracy of the developed multiple regression equations among themselves is the value of the determination coefficient (R^2). The dependences of the yield of grain crops on the increasing levels of mineral nutrition and hydrothermal conditions between the phases and the entire growing season have a complex nonlinear character and are most accurately described by second-order equations with clearly defined extremum points or areas of optimum.

Известно, что урожай зерновых культур в основном определяется факторами, которые можно условно разделить на две группы: регулируемые (предшественник, система обработки почвы, сорт, семена, срок сева, нормы высева, уровень плодородия поля, удобрения и средства защиты растений) и нерегулируемые, играющие определенную, а в некоторые годы и ведущую роль (засуха или избыточное увлажнение, суховеи, экстремально высокие температуры и т. д.) не только в формировании, но и в варьировании величины урожая зерна. Известно, что гидротермические условия в отдельные годы, и особенно в межфазные периоды вегетации, могут значительно отличаться от

средних многолетних величин. При этом интегральным показателем оценки условий гидротермического режима межфазных и всего периода вегетации является предложенный Г.Т. Селяниновым гидротермический коэффициент (ГТК): отношение количества осадков к испаряемости. Его величина более 1,6 характеризует регион как избыточно влажную область; 1,6...1,3 – влажную (или нормально увлажненную); 1,3...1,0 – недостаточно влажную; 1,0...0,7 – засушливую; 0,7...0,4 – очень засушливую (Чирков, 1979; Иванов, 1971).

Анализ литературных данных, представленный в работе (Завалин и др., 2010) показал, что в целях корректного исследования зависимостей урожая сельскохозяйственных культур от гидротермических условий в период вегетации, рекомендуется учитывать температуру и уровень выпадения осадков ежедневно и связывать их не с календарными сроками (декада, месяц), а с датами наступления и продолжительностью основных фаз развития растений или в целом периода вегетации культуры (посев – полная спелость), так как календарные сроки возобновления весенней вегетации у озимых культур и многолетних трав, а также сроки сева яровых зерновых и сроки посадки овощных и пропашных культур по годам не совпадают, а гидротермические условия весенне-летнего периода вегетации, и в особенности его межфазных периодов, могут существенно отличаться от средних многолетних.

Исследование зависимостей урожайности зерна яровой пшеницы, ячменя и пленчатого овса от возрастающих уровней минерального питания и гидротермических условий межфазных и всего периода вегетации проведено на основе данных, полученных в длительном стационарном опыте, проведенном в лаборатории агрохимии Зонального НИИСХ Северо-Востока (г. Киров) на дерново-подзолистой, среднесуглинистой почве со средним содержанием гумуса. Опыт проводился в шестипольном зернопаротравяном севообороте со следующим чередованием культур: чистый пар, озимая рожь, ячмень с подсевом клевера, клевер I г. п. (сено), пшеница и овес. Схема опыта - выборка (1/4) из

полнофакторной схемы (6 6 6), включающая в себя 54 варианта. За единицу доз основных элементов минерального питания приняты следующие величины: 000 – без удобрений, 111 = (NPK)30, 222 = (NPK)60, ..., 555 = (NPK)150. Более подробно условия и методика проведения полевого опыта, а также некоторые его результаты опубликованы ранее в работах (Завалин и др., 2010; Пасынкова, 2010; Пасынков и др., 2016; Пасынков, Пасынкова, 2019).

Статистическая обработка полученных данных проведена методом множественного регрессионного анализа (линейного, полинома половинной степени и второго порядка) с использованием пакета статистических программ «Statistica 6» (Stat-Soft Inc., США). Критерий сравнительной оценки точности полученных уравнений множественной регрессии между собой – величина коэффициента детерминации (R^2) (Иванова, 1989).

Полученные данные показали, что урожайность зерна изучаемых культур существенно изменялась в зависимости от уровня минерального питания и гидротермических условий конкретного периода вегетации (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность зерна яровых зерновых культур и ГТК в период проведения полевых опытов

Год	Урожайность зерна, ц/га		ГТК в период вегетации				
	min ... max	Средняя	П – К	К – Т	Т – Ц*	Ц* – ПС	П - ПС
Яровая пшеница							
1996	25,0 ... 52,0	43,8	1,42	1,19	1,77	0,95	1,25
1997	28,1 ... 51,7	42,7	2,47	1,82	0,77	1,31	1,51
1998	20,2 ... 27,2	24,1	1,29	0,77	3,05	2,25	2,30
2002	18,3 ... 40,9	33,1	1,65	2,82	0,29	0,66	1,15
2003	27,3 ... 46,6	38,0	1,15	3,57	3,44	0,64	1,75
2004	17,0 ... 32,8	26,7	1,52	3,33	0,50	0,96	1,32
Пивоваренный ячмень							
2000	11,1 ... 42,2	32,7	2,03	1,30	0,51	0,99	1,25
2001	16,1 ... 56,0	43,1	3,03	0,66	0,31	1,40	1,53
2002	10,5 ... 52,8	39,1	1,65	2,82	0,29	0,66	1,15
2006	17,7 ... 44,9	34,8	1,81	1,15	1,32	1,00	1,34
2007	7,8 ... 34,6	26,8	1,69	0,65	1,46	1,73	1,57
2008	13,6 ... 50,8	37,8	1,83	1,72	0,84	1,57	1,46

П – посев, К – кущение, Т – трубкование, Ц – цветение, * – у ячменя колошение (Кол.), ПС – полная спелость (то же и в табл. 2)

Так, максимальная урожайность зерна яровой пшеницы (в среднем по опыту свыше 40 ц/га) в шести основных его вариантах получена в два года, минимальная (24,1 и 26,7 ц/га) – также в два года из шести лет. Два года со средней урожайностью зерна 33,1 и 38,0 ц/га занимали промежуточное положение. Максимальная урожайность зерна ячменя (в среднем по опыту 43,1 ц/га) в шести основных его вариантах получена в один год, минимальная (26,8 ц/га) – также в один год из шести лет проведения исследований. Четыре года со средней урожайностью зерна в пределах 32,7...39,1 ц/га занимали промежуточное положение. Таким образом, при одинаковых уровнях минерального питания был сформирован различный уровень урожая, вариабельность которого определялась изменением гидротермических условий как всего периода вегетации, но в основном - его межфазных периодов.

Проведение множественного регрессионного анализа показало, что во все годы опытов уровень минерального питания оказывал существенное влияние на урожайность зерновых культур. При этом наиболее точно (по величине R^2) зависимости урожайности от возрастающих уровней минерального питания (М) и ГТК (Г) за межфазные и весь период вегетации отражают уравнения второго порядка (табл. 2). Линейные уравнения и полинома половинной степени имели более низкие величины R^2 , чем уравнения второго порядка. В уравнениях второго порядка обращают на себя внимание зависимости $+M - M^2$ и $+Г - Г^2$, которые показывают, что с возрастанием уровня минерального питания и ГТК урожайность повышается, однако каждое последующее их увеличение (на единицу) сопровождается меньшей прибавкой урожая и, достигнув точки экстремума (оптимума по М и Г), последующее возрастание уровня минерального питания и ГТК сопровождается снижением урожая (рис. 1).

Полученные данные показали, что оптимальной дозой минеральных удобрений (NPK) при возделывании устойчивых к полеганию сортов яровой пшеницы и ячменя является интервал 120...125 кг/га д.в. (табл. 2). Однако в

различные периоды вегетации оптимальные величины ГТК для формирования максимальной урожайности существенно различаются. Так, максимальный урожай зерна яровой пшеницы был сформирован при ГТК в период кущение - трубкование – 3,08; трубкование – цветение – 2,36; в репродуктивный период - 1,22 и за весь период вегетации – 1,58 (рис. 1). Максимальная урожайность пивоваренного ячменя была сформирована при избыточном увлажнении в период кущение – трубкование (ГТК – 2,23), а в репродуктивный период и за весь период вегетации (рис. 1) – при некотором преобладании осадков над испаряемостью (ГТК – 1,07 и 1,13 соответственно). В период трубкование – колошение точки экстремума (оптимума) по уровням минерального питания и ГТК определить не представляется возможным, так как в уравнении существует значимое взаимодействие независимых переменных (М·Г).

Таблица 2. Зависимости урожайности яровых зерновых культур от уровня минерального питания и ГТК в различные периоды вегетации

Период	Уравнение регрессии	R ²	ТЭг
Яровая пшеница (n = 36)			
П - К	$Y = 17,078 + 9,080M - 1,140M^2 + 2,011Г^2$	0,44*	-
К - Т	$Y = 3,224 + 9,080M - 1,140M^2 + 33,573Г - 5,461Г^2$	0,47*	3,08
Т - Ц	$Y = 15,887 + 9,080M - 1,140M^2 + 13,107Г - 2,786Г^2$	0,74*	2,36
Ц - ПС	$Y = 6,177 + 9,080M - 1,140M^2 + 33,639Г - 13,747Г^2$	0,57*	1,22
П - ПС	$Y = - 46,343 + 9,080M - 1,140M^2 + 92,568Г - 29,230Г^2$	0,58*	1,58
Пивоваренный ячмень (n = 36)			
П - К	$Y = 15,319M - 1,842M^2 + 7,100Г$	0,77*	-
К - Т	$Y = 16,769M - 2,062M^2 + 14,736Г - 3,311Г^2$	0,76*	2,23
Т - Кол.	$Y = 19,939M - 2,044M^2 + 34,7107Г - 17,895Г^2 - 4,170M \cdot Г$	0,86*	-
Кол. - ПС	$Y = 15,126M - 1,813M^2 + 31,730Г - 14,859Г^2$	0,80*	1,07
П - ПС	$Y = 15,114M - 1,811M^2 + 27,522Г - 12,157Г^2$	0,82*	1,13

n – общее число наблюдений; М – уровни минерального питания (кодированных единиц): 0 – без удобрений, 1 – (НРК)30, ... 5 – (НРК)150), Г – ГТК; ТЭг – точка экстремума по величине ГТК; * – значимо при $p < 0,05$; то же и на рис. 1

Аналогичные данные были получены и в опыте по изучению зависимостей урожайности зерна пленчатого овса от возрастающих уровней азотного питания и ГТК в период вегетации (Пасынкова, 2010). Так же, как и у пшеницы и ячменя, данные зависимости наиболее точно отражают уравнения второго порядка с

четко выраженными областями оптимума. При этом наиболее тесно урожайность зерна овса связана с гидротермическими условиями в период трубкование - выметывание и посев - полная спелость (рис. 1).

На рисунке 1 в пределах полученных экспериментальных данных и наблюдений за количеством осадков и температурным режимом в различные периоды вегетации в графическом виде (в виде поверхности отклика функции) представлены зависимости урожайности зерновых культур от возрастающих уровней минерального питания и ГТК за период посев – полная спелость. На рисунке также представлена зависимость продуктивности севооборота от доз минеральных удобрений и ГТК за периоды вегетации, рассчитанная на основе данных многолетних исследований (1968–2002 гг.), проведенных на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах (Лукин, 2010).

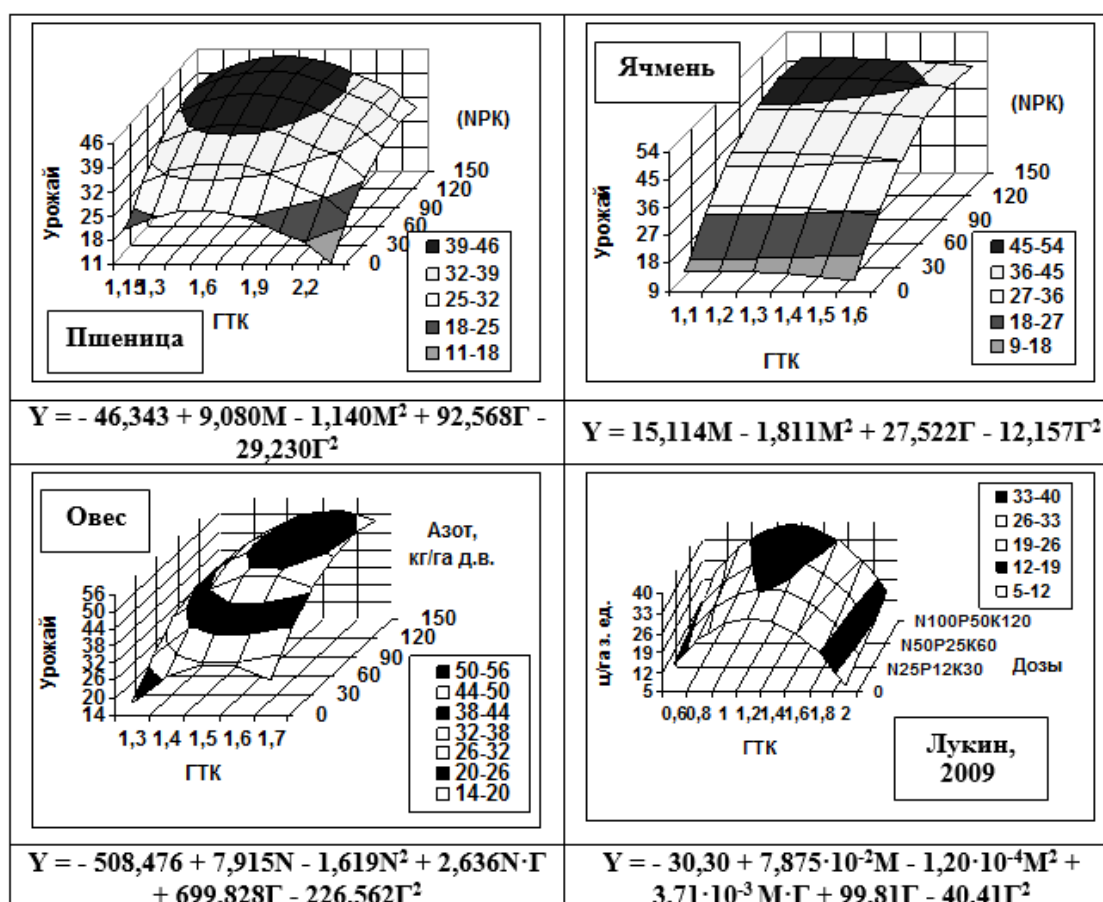


Рис. 1. Зависимость урожайности зерновых культур (Y, ц/га) и продуктивности севооборота (ц/га з. ед.) от уровня минерального питания и ГТК в период посев – полная спелость

Она отражает и подтверждает те же тенденции, которые наблюдались и при проведении наших исследований. Однако в обсуждаемом случае (Лукин, 2009) точка экстремума по величине доз удобрений не достигнута, возможно, ввиду более их низких доз по сравнению с применяемыми нами, а область оптимума по величине ГТК находится в интервале 1,2...1,4, характеризующем периоды вегетации как периоды с нормальным увлажнением.

Итак, зависимости урожайности зерновых культур от возрастающих уровней минерального питания и гидротермических условий, складывающихся в период вегетации, имеют сложный нелинейный характер. Максимально точно данные зависимости отражают уравнения второго порядка с четко выраженными точками экстремума или областями оптимума. Максимальная урожайность зерна формируется при нормальном или избыточном увлажнении и наиболее тесно она связана с гидротермическими условиями, складывающимися в период трубкования - цветения (яровая пшеница), трубкования - колошения (пивоваренный ячмень), трубкования - выметывания (пленчатый овес) и всего периода вегетации (посев - полная спелость).

Список литературы

1. Чирков Ю.И. Агрометеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. 320 с.
2. Иванов П.К. Яровая пшеница. М.: Колос, 1971. Изд. 3-е, перераб. и дополн. 328 с.
3. Завалин А.А., Пасынкова Е.Н., Пасынков А.В. Зависимость урожая зерна яровой пшеницы от гидротермических условий межфазных периодов вегетации // Плодородие, 2010. № 4. С. 6–8.
4. Пасынкова Е.Н. Зависимость урожая зерна овса от доз азотных удобрений и гидротермических условий межфазных периодов вегетации // Проблемы агрохимии и экологии, 2010. № 4. С. 13–17
5. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Урожайность зерна ячменя и ее зависимость от минерального питания и гидротермических условий в период вегетации // Агрохимический вестник, 2019. № 2. С. 33–38. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10024
6. Пасынков А.В., Светлакова Е.В., Котельникова Н.В. и др. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, продуктивность севооборота и качество зерна // Агрохимия, 2016. № 10. С. 38–47.
7. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. М.: Агропромиздат, 1989. 235 с.
8. Лукин С.М. Агроэкологическое обоснование систем применения удобрений в севооборотах на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах: автореф. дисс. ... д. б. н. М.: ВНИИА, 2009. 49 с.

**АНАЛИЗ ИЗОФЕРМЕНТОВ ЭСТЕРАЗ ЗРЕЛЫХ СЕМЯН
РЕКОМБИНАНТНЫХ ИНБРЕДНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ
ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)**

А. С. Рудакова¹, С. В. Рудаков¹, Ю. В. Чесноков²

¹Государственный университет Молдовы, г. Кишинев, Молдова;

²ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

Исследование изоферментных систем семян в качестве биохимических генетических маркеров является эффективным и быстрым методом установления генетического полиморфизма и селекционно-генетического разнообразия растений. Исследована возможность и показана целесообразность использования электрофоретических спектров изоформ эстераз зрелых семян рекомбинантных инбредных линий яровой мягкой пшеницы для выявления генетического полиморфизма у образцов картирующей популяции *Triticum aestivum* L.

**ANALYSIS OF ESTERASE ISOZYMES IN MATURE SEEDS OF
RECOMBINANT INBRED LINES OF SPRING SOFT WHEAT
(*TRITICUM AESTIVUM* L.)**

A. S. Rudakova¹, S. V. Rudakov¹, Yu. V. Chesnokov²

¹State University of Moldova, 60, str. Mateevich, Kishinev, 2009 Moldova;

²Agrophysical Research Institute, Ministry of Science and High Education,
14, Grazhdanskii ave., St.-Petersburg, 195220, Russia;

E-mail: yuv_chesnokov@agrophys.ru

The study of isoenzyme systems of seeds as biochemical genetic markers is an effective and fast method for establishing genetic polymorphism and plant breeding and genetic diversity. The possibility was investigated and the expediency of using the electrophoretic spectra of esterase isoforms of mature seeds of recombinant inbred lines of spring bread wheat for revealing genetic polymorphism in the samples of the mapping population of *Triticum aestivum* L.

Введение

Использование в современных генетико-селекционных исследованиях биохимических и молекулярно-генетических методов и подходов, в частности использование эффективных биохимических маркеров, для установления генетического полиморфизма у сельскохозяйственных растений и исследования процессов наследования позволяет ускорять селекционный процесс и производить оценку полиморфизма перспективного селекционного материала (Чесноков, 2013). Широко и эффективно в качестве биохимических маркеров применяются изоформы ферментов, участвующих в ключевых процессах онтогенеза растений, в частности эстераз (Tankasley, 1987; Ivy et al, 2010).

Электрофоретический анализ полиморфных спектров изоформ ферментов позволяет быстро получить информацию о генетических характеристиках растений и разнообразии, присутствующем как в исследуемых популяциях, так и в отдельных образцах.

Ранее была показана возможность успешного использования результатов исследования изоферментного состава эстераз у некоторых видов семейства капустных *Brassica*, для выявления полиморфизма генетического разнообразия и определения, в частности, наиболее перспективных селекционно значимых родительских форм (Рудакова и др., 2017).

В настоящей работе исследована возможность установления полиморфизма изоферментного состава эстераз зрелых семян рекомбинантных инбредных линий яровой мягкой пшеницы для выявления и характеристики молекулярно-генетического разнообразия у образцов картирующей популяции *Triticum aestivum* L. с целью последующего анализа и картирования QTL.

Материалы и методы

Для проведения исследований использовали зрелые семена родительских форм Syntethic и Opata 85 и 17 рекомбинантных инбредных линий картирующей популяции яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) (Чесноков и др., 2017). Семена размалывали, муку просеивали и отвешивали на аналитических весах по 50–75 мг каждого образца. Ферменты экстрагировали 0,005 М Трис-НСl буфером, рН 8,3 в присутствии 0,002 М MgCl₂, 0,025 М сахароза, в соотношении мука:буфер 1:2, в течение 10 часов при 4°C. После центрифугирования при 15 тыс. об. мин⁻¹, 10 мин, при 4°C, надосадочную жидкость отбирали и использовали без замораживания для электрофоретического анализа по (Ornstein, 1964; Davis, 1964).

Электрофорез в нативных условиях проводили в системе ПААГ – 4% концентрирующий и 8% разделяющий гели, при 5–8°C, 20 мА, в течение 2,5 часов. В каждый трек вносили по 10–15 мкл образца.

Электрофорез осуществляли в камере Mini-PROTEAN Tetra Cell (Bio-Rad Laboratories, USA). Для определения молекулярных масс изоформ использовали маркеры Prestained Protein Ladder (Thermo Scientific, США).

Для проявления полос изоферментов гель обрабатывали реактивом на неспецифическую эстеразу (Meon, 1988), избыток красителя отмывали 7% уксусной кислотой. Полученные зимограммы сканировали на сканере Epson Expression 10000XL (GEHealthcare, США). Денситометрический анализ электрофоретических спектров изоферментов осуществляли программой Phoretix 1D Advansed (Total Lab, Ltd., Великобритания).

Результаты и обсуждение

Электрофоретический анализ изоферментного состава эстераз у выборки (19 образцов) рекомбинантных инбредных линий картирующей популяции яровой мягкой пшеницы и двух родительских форм, Syntethic и Opata, выявил 12 зон изоформ эстераз: высокомолекулярных А1–А7 с молекулярными массами от 93,0 до 108,0 кДа и 5 низкомолекулярных, в области молекулярных масс 41–50 кДа (рис.).

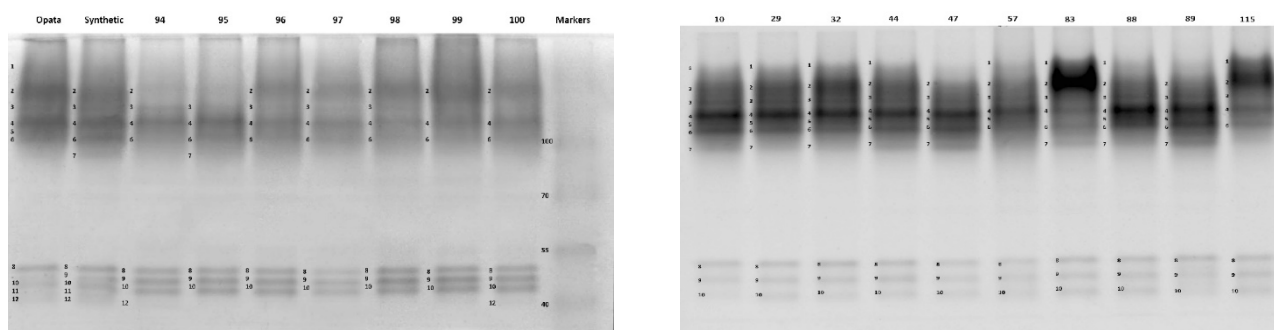


Рис. Зимограммы изоферментов эстераз зрелых семян рекомбинантных гибридных линий картирующей популяции яровой мягкой пшеницы (выборка). Synthetic и Opata – родительские формы. Цифры сверху – номера линий картирующих популяций, цифры на треках – изоформы эстераз. Справа даны маркеры молекулярной массы

Высокомолекулярные изоформы эстераз, семь зон, в исследованных образцах обнаруживают представительное разнообразие по наличию и относительному содержанию (рис., табл.). Низкомолекулярные изоформы едва

ли могут представлять интерес с точки зрения исследования полиморфизма - по результатам денситометрического анализа обнаруженные пять изоформ отличаются по относительному содержанию лишь в некоторых из исследованных образцов.

Таблица. Изоформы эстераз в образцах картирующей популяции пшеницы

Образец	A1 138kDa	A2 129kDa	A3 120kDa	A4 113kDa	A5 108kDa	A6 106kDa	A7 93kDa
Opata	+	+	+	+	+	+	
Syntethic		+	+	+		+	+
10, 29, 32, 44, 83, 88	+	+	+	+	+	+	+
57	+	+	+	+	+	+	
47, 89		+	+	+	+	+	+
95			+	+		+	+
94, 96–98		+	+	+	+		
99, 100		+		+		+	
115	+	+	+	+		+	

Родительские формы отличаются по составу изоферментов эстераз: форма Opata содержит зоны высокомолекулярных изоформ A1–A6, тогда как в составе формы Syntethic обнаружены изоформы A2–A4, A6 и A7 (рис.). Изоформы A1 и A5 характерны только для родительской формы Opata, а изоформа A7 – только для формы Syntethic, что может быть использовано для характеристики наследования родительских признаков в рекомбинантных инбредных линиях популяции.

Обе родительские формы содержат также низкомолекулярные формы A9–A12, в незначительном количестве. Очевидно, низкомолекулярные изоформы при анализе спектров будут создавать лишь статистический «шум» и могут не учитываться далее при исследовании полиморфизма эстеразных изоформ популяции.

Проведенный электрофоретический анализ изоформ эстераз зрелых семян рекомбинантных инбредных линий картирующей популяции яровой мягкой пшеницы выявил, что даже в избранных образцах популяции обнаруживается значительный полиморфизм по составу высокомолекулярных изоформ, а также по их относительному содержанию, т. е. выраженности и репрезентативности в генотипах (таблица). Очевидно, что анализ изоферментных спектров эстераз в образцах зрелых семян всех образцов картирующей популяции пшеницы позволит установить особые и перспективные генетико-селекционные характеристики генотипов популяции. Полученные данные могут быть использованы для последующего анализа QTL, определяющих проявление установленных изоформ эстераз.

Список литературы

1. Чесноков Ю. В. Молекулярно-генетические маркеры и их использование в предселекционных исследованиях. СПб: АФИ, 2013. 116 с.
2. Tanksley S. D., Orton T. J. (eds) 1984. Isozymes in Plant Genetics and Breeding. North-Holland Publ. Co. Amsterdam.
3. Ivy N. A., Biswas M. S., Rasul G., Hossain T., Mian M. A. K. Variations of genotypes of radish at molecular level using isozyme analysis for the identification of self-incompatible lines. *Global J. Biotechnol. Biochem.* 2010. v. 5, p. 19–26.
4. Рудакова А. С., Рудаков С. В., Артемьева А. М., Курина А. Б., Кочерина Н. В., Чесноков Ю. В. Изучение полиморфизма эстеразного состава зрелых семян редиса (*Raphanus sativus var. sativus*) // Овощи России, 2017, Nr. 5 (38), p. 4–9. ISSN 2072-9146.
5. Чесноков Ю. В., Мирская Г. В., Канаш Е. В., Кочерина Н. В., Ловассер У., Бёрнер А. Картирование QTL у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в контролируемых условиях агроэкобиополигона // Физиология растений. 2017. Т. 64(1). С. 55–68
6. Ornstein L. Disc electrophoresis: background and theory. *Anal. NY Acad. Sci.*, 1964, v. 121, p. 321–349.
7. Davis B. J. Disc electrophoresis. II. Method and application to human serum proteins. *Annals of the NY Academy of Science*, v. 121, (1964), p. 404–427.
8. Meon S. Protein, esterase and peroxidase patterns of phytophthora isolates from Cocoa in Malaysia. *J. Islamic Acad. Sci.*, v. 1(2) (1988), p. 154–158.

**ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИСТЬЕВ
ЗАСУХОУСТОЙЧИВЫХ И НЕЗАСУХОУСТОЙЧИВЫХ СОРТОВ
ПШЕНИЦЫ И ИХ ИЗМЕНЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ**

Д. В. Русаков, Е. В. Канаш

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

Исследовано влияние засухи на изменение спектральных характеристик листовой поверхности растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Рассмотрены особенности реагирования засухоустойчивых и незасухоустойчивых сортов яровой пшеницы на действие умеренной почвенной засухи. Было выявлено наряду с неспецифическими изменениями, характерными для растений пшеницы при водном дефиците, и специфические изменения оптических характеристик, присущие засухоустойчивым сортам.

**OPTICAL CHARACTERISTICS OF LEAVES DROUGHT-RESISTANT AND
NON-DROUGHT-RESISTANT WHEAT VARIETIES AND THEIR
CHANGES IN SOIL DROUGHT CONDITIONS**

D. V. Rusakov, E. V. Kanash

Agrophysical Research Institute

The effect of soil drought on changes in the spectral characteristics of the leaf surface of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) was studied. The features of the response of drought-resistant and non-drought-resistant cultivars of spring wheat to the effect of moderate soil drought are considered. It was found that along with non-specific changes in the optical characteristics of leaves, which are typical for all the studied wheat cultivars under water deficit, there are also specific changes that are inherent only in drought-resistant cultivars.

В условиях изменяющегося климата изучение влияния засухи на растения приобретает особую значимость, поскольку при ее действии происходит трансформация всего обмена веществ и активизация вторичного метаболизма, направленного на синтез веществ, обеспечивающих защиту растительных клеток от деградации. Данные изменения не могут не отразиться на спектральных характеристиках листьев, являясь, по сути, индикатором перестройки метаболизма.

Целью данного исследования было выявление особенностей оптических характеристик листьев пшеницы засухоустойчивых и незасухоустойчивых сортов, определение оптических критериев, позволяющих обнаружить возникновение водного дефицита до появления видимых симптомов стресса

растений, а также оценка возможности использования данных критериев при дистанционной диагностике состояния посевов.

Растения пшеницы (*Triticum aestivum* L.) разных сортов, отличающихся по засухоустойчивости, выращивали в светоустановках с лампами ДНаТ 400 при освещенности 20–22 клк, фотопериоде 16 часов. Растения выращивали в полипропиленовых сосудах емкостью 3 литра, наполненных дерново-подзолистой почвой, где они были подвергнуты действию почвенной засухи (30% от ППВ в течение 5 суток) в межфазный период трубкование - колошение. В контроле влажность почвы поддерживали равной 80% от ППВ. Изучали влияние почвенной засухи на спектральные характеристики засухоустойчивых (Грекум 289, Омская 36, Альбидум 28, Саратовская 29, Добрыня) и незасухоустойчивых сортов яровой пшеницы (Белорусская 80, Дарья, Красноуфимская 100, Ленинградская 97, Ленинградка).

Спектры отраженной от листьев радиации регистрировали по завершении действия почвенной засухи *in situ* с помощью миниатюрной оптоволоконной спектрорадиометрической системы фирмы Ocean Insight (США), которая обеспечивает оптическое разрешение 0.065 нм в диапазоне от 300 до 1000 нм с шагом 0,3 нм и программного обеспечения к данной системе Spectra Suite. Для записи спектров отражения в каждом варианте отбирали по 30 растений (повторность опыта 2-кратная). После записи спектров отражения рассчитывали спектральные индексы, позволяющие оценить: содержание хлорофилла - ChlRI, коэффициент диффузного рассеяния - R_{800} (Sims, Gamon, 2002), активность фотохимических процессов - PRI_{mod} (Peñuelas et al., 1995), которая определяется в основном интенсивностью тепловой диссипации (Якушев и др. 2010; Kanash et al. 2013), а также индексы флавоноидов – FRI_{mod} , антоцианов – ARI_{mod} (Мерзляк и др., 2003). Все изменения величин, которые обсуждаются в данной работе, были статистически значимы. Средние величины, доверительные интервалы и

уровни значимости различий были определены с помощью программы Statistica 8.

Обнаружено, что засуха приводит к увеличению диффузного отражения (в среднем на 15–24%) во всей области видимого спектра. В наибольшей степени рост отражающей способности листьев выражен у незасухоустойчивых сортов, особенно в диапазонах зеленого и желто-оранжевого излучения. В ближней инфракрасной области изменения имеют место, как у незасухоустойчивых, так и засухоустойчивых сортов, что вероятно связано с потерей тургора и изменением структуры тканей листьев.

Содержание хлорофилла, которое оценивали по величине индекса хлорофилла (ChlRI), под влиянием созданной в данном эксперименте почвенной засухи, изменялось незначительно. Достоверно в условиях водного дефицита ChlRI был ниже у всех незасухоустойчивых сортов. Наибольшая потеря хлорофилла присуща сортам Ленинградка и Ленинградская 97 (5–6%). В условиях почвенной засухи не обнаружено достоверных изменений ChlRI у засухоустойчивых сортов пшеницы (Саратовская 29, Альбидум 28, Добрыня), либо данный индекс возрастал на 7–8,5% (Грекум 289, Омская 36).

Создание водного стресса в большинстве случаев приводило к увеличению индекса диффузного рассеивания (R800), и у засухоустойчивых сортов рассеивание в данной области спектра было ниже на 3–6%, чем у незасухоустойчивых. Степень увеличения рассеивания чаще определяется интенсивностью и продолжительностью засухи. В свою очередь, у некоторых сортов разной засухоустойчивости при непродолжительной засухе может наблюдаться и уменьшение диффузного рассеивания.

Водный дефицит приводил к существенному повышению фотохимического индекса отражения (PRI_{mod}). Наибольший рост данного индекса, величина которого в значительной степени определяется интенсивностью тепловой диссипации, был отмечен у незасухоустойчивых

сортов (3–9%). У засухоустойчивых сортов увеличение не превысило 4%. У сорта Омская 36 индекс имел тенденцию к снижению. Почвенная засуха приводила не только к усилению тепловой диссипации, но и способствовала накоплению флавонолов (FRI), что наблюдалось в наших предыдущих исследованиях (Якушев и др. 2019). Направленность изменений FRI была аналогична изменениям индекса тепловой диссипации – при меньшей засухоустойчивости сорта накопление флавонолов было наиболее выражено. Если FRI у засухоустойчивых сортов в условиях водного дефицита был на 4–21% выше, чем при оптимальной влажности почвы, то у незасухоустойчивых в аналогичных условиях увеличение достигло 22–71%.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что все проанализированные индексы изменяются при почвенной засухе, но при этом всегда нужно различать характер ответной реакции, является ли это особенностью сорта, или общей универсальной реакцией растений на исследуемый стресс и в связи с этим руководствоваться правильным подбором спектральных индексов.

Список литературы

1. Sims D. A., Gamon J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages // *Remote Sensing of Environment*. 2002. v. 81(2–3). P. 337–354.
2. Peñuelas J., Barret F., Fitella I. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance // *Photosynthetica*. 1995. V. 31(2). P. 221–230.
3. Мерзляк М. Н., Гительсон А. А., Чивкунова О. Б., Соловченко А. Е., Погосян С. И. Использование спектроскопии отражения в анализе пигментов высших растений // *Физиология растений*. 2003. Т. 50. № 5. С. 785–792.
4. Якушев В. П., Канаш Е. В., Осипов Ю. А., Якушев В. В., Лекомцев П. В., Воропаев В. В. Оптические критерии при контактной и дистанционной диагностике состояния посевов // *Сельскохозяйственная биология*. 2010. 3. С. 94–101.
5. Kanash E. V., Panova G. G., Blokhina S. Y. Optical criteria for assessment of efficiency and adaptogenic characteristics of biologically active preparations. *ActaHort.* (ISHS), 2013, 1009: P. 37–44.
6. Якушев В. П., Канаш Е. В., Якушев В. В., Матвеев Д. А., Русаков Д. В., Блохина С. Ю., Петрушин А. Ф., Митрофанов Е. П. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 3. С. 24–32.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ТОМАТА В УСЛОВИЯХ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВ

Т. И. Салтанович, Л. П. Анточ

Институт генетики, физиологии и защиты растений

Действие температуры, недостатка влаги и их сочетание оказывают существенное и дифференцирующее влияние на изменчивость признаков мужского гаметофита сортов томата. Выявленные основные источники изменчивости пыльцы в стрессовых условиях. На основе выявленной вариабельности проведена дифференциация генотипов по уровню устойчивости. Полученные результаты позволяют вовлечь выделившиеся генотипы для дальнейшего использования в селекционных программах в качестве геноисточников устойчивости.

USE OF POLLEN ANALYSIS FOR THE CHARACTERISTICS OF RESISTANCE OF TOMATO VARIETIES UNDER ABIOTIC STRESS

T. I. Saltanovici, L. P. Antoci

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection

The aim of the research was to study the reaction of the male tomato gametophyte to the effect of the temperature factor, water deficit and their combination. A set of 11 tomato varieties was used in the study. These varieties were characterized by different levels of resistance to abiotic factors at the sporophyte stage. As a result of the experiments, it was found that the heating of pollen grains, their cultivation on a medium modelling the effect of water deficiency, as well as the coaction of these factors, differentially influenced the quality of the male gametophyte in different varieties of tomato. The main sources of the variability in male gametophyte characteristics are genotype, temperature, and water deficit. Temperature is a key factor in the variability of pollen viability, while the contribution of genotype and water deficit is 4.2 times lower. At the same time, the main factor determining the variability of the length of pollen tubes is water deficit. The genotypic component of the variability is also significant, but its values are lower. It was established that the conditions of the year can also have a significant effect on the pollen characteristics. Thus, the processing the data from three-year studies showed that 41.0% of the variability of the male gametophyte characteristics were determined by the conditions of the year, which is even a little higher than impact of experimental abiotic factors.

Известно, что большинство современных сортов интенсивного типа, отличается вариабельностью элементов урожайности в изменяющихся условиях внешней среды (Новикова, 2013). В этой связи наблюдаемые в последние годы изменения климата вызывают необходимость совершенствования сортимента ряда культур, которые будут отличаться способностью быстрой адаптации к изменяющимся условиям среды. Это предполагает выявление наиболее

пластичных сортов с широкой нормой реакции, незначительно снижающих ростовые процессы и урожайность в изменяющихся условиях. Исходя из того, что устойчивость генотипов к действию абиотических факторов в значительной степени генетически детерминирована и служит характеристикой их реакции на стресс, представляет значительный интерес изучение реакций растений на действие нерегулируемых факторов среды на различных этапах вегетации растений. Анализ вариабельности признаков растений является необходимым условием изучения и последующего управления адаптивными реакциями большинства культур в условиях абиотических стрессов (Collins, Tardieu, Tuberosa, 2008).

Стрессовые условия окружающей среды оказывают значительное влияние на формирование и функционирование генеративных органов растений. Параметры, характеризующие пыльцу, также ежегодно подвержены очень сильным колебаниям и тесно связаны с погодно-климатическими условиями в период формирования пыльцевых зерен (Ерещенко, 2014). В условиях теплового стресса генотипы томата проявляют анатомическую, морфологическую, физиологическую, фенологическую и молекулярную реакцию (Faruq, 2012). Особенно сильно влияние высокой температуры на репродуктивные стадии развития и урожайность растений. Согласно результатам исследований (Nazra, Naque, Sikder, 2007) тепловой стресс может возникать у томатов при среднесуточной температуре 28–29°C, что всего на несколько градусов выше оптимального температурного диапазона 21–24°C. Такой умеренно-повышенный температурный стресс может не нарушать биохимические реакции, фундаментальные для нормального функционирования клеток, но может снижать количество плодов в качестве общего ответа на влияние повышенных температур. Учитывая то, что одним из показателей адаптивности является устойчивость репродуктивных структур, оценка на уровне пыльцы может представлять особый интерес, поскольку чувствительность компонентов

репродуктивной системы растения является весьма важным признаком устойчивости ряда сельскохозяйственных культур (Лях, Сорока, 2014).

Цель исследований состояла в изучении реакции мужского гаметофита сортов томата на действие температурного фактора, водного дефицита и их сочетания.

Материал и методы

Для проведения исследований использовали набор из 11 сортов томата, которые на стадии спорофита характеризуются различным уровнем устойчивости к абиотическим факторам. Растения выращивали в полевых условиях до стадии цветения по общепринятой для томатов методике. Для оценки жаростойкости мужского гаметофита проводили прогревание пыльцы при температуре 40°C и экспозиции 4 часа. Реакцию пыльцевых зерен на действие водного дефицита оценивали путем проращивания пыльцы на питательных средах, дополненных селективными концентрациями сахарозы. Кроме того, определяли реакцию пыльцевых зерен на совместное действие этих факторов. При оценке жизнеспособности пыльцевых зерен в опытных и контрольных вариантах проводили анализ пыльцы под микроскопом, изучали в каждом варианте не менее 500 пыльцевых зерен. Критерии оценки: жизнеспособность пыльцы *in vitro* в опытных и контрольном вариантах, размеры пыльцевых трубок, а также устойчивость мужского гаметофита к температуре, водному дефициту и их сочетанию. Статистическую обработку полученных результатов проводили методами суммарной статистики и многофакторного дисперсионного анализа с использованием программ Statgraphics v.5.1 и Excel 2016.

Результаты и обсуждение

В результате прогревания пыльцевых зерен жизнеспособность пыльцы сортов снижалась в 1,2...2,8 раза в зависимости от генотипа. При этом наиболее сильно на температурное воздействие реагировали пыльцевые зерна сортов:

Merisor, Nota и Venet, у которых значения этого показателя в опыте были ниже чем в контроле в 2,1...2,8 раза. В тоже время у трёх сортов (Prestij, Milenium, Mihaela) после прогревания реакция пыльцы была более слабой (рис. 1). Результаты экспериментов показали, что действие водного дефицита у большинства генотипов также приводит к изменению процента прорастания пыльцевых зерен в сторону уменьшения в 1,2...1,6 раза, тогда как у сортов Mihaela, Victorina и Venet отмечен рост жизнеспособности пыльцы, что, вероятно, может свидетельствовать об ее устойчивости к действию этого фактора (рис. 1).

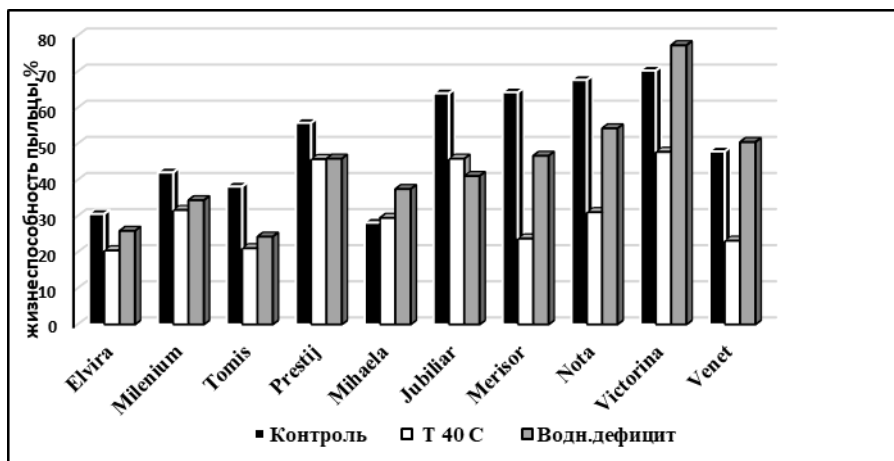


Рис. 1. Влияние температуры и водного дефицита на жизнеспособность пыльцы

В условиях совместного действия факторов жизнеспособность пыльцы в опыте также была ниже контрольных значений в 1,65...1,9 раза в зависимости от генотипа.

В результате проведенных экспериментов выявлено, что у половины сортов прогревание пыльцевых зерен не оказывало значительного влияния на изменение длины трубок, тогда как у 4 сортов в опыте формировались гораздо более короткие трубки по сравнению с контролем. В условиях совместного действия факторов размеры пыльцевых трубок были в 1,4...4,8 раза меньше контрольных значений, т. е. совокупное влияние температуры и водного

дефицита вызывало снижение скорости прорастания и роста пыльцевых трубок, что приводило к их укорачиванию (рис. 2).

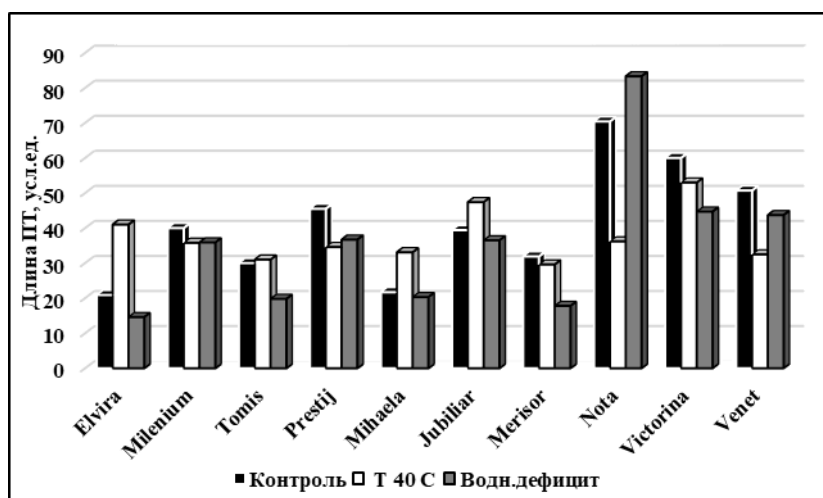


Рис. 2. Влияние температуры и водного дефицита на длину пыльцевых трубок

Таким образом, действие абиотических факторов оказывает значительное влияние на качество мужского гаметофита, вызывая дифференцированные изменения жизнеспособности пыльцы и размеров пыльцевых трубок у сортов томата.

Для выявления основных источников изменчивости признаков мужского гаметофита проведена обработка полученных результатов методом многофакторного дисперсионного анализа. Установлено, что генотип, температура, водный дефицит и их взаимодействие достоверно ($P < 0,01$) влияют на вариабельность анализируемых показателей. Основным фактором изменчивости жизнеспособности пыльцы является температура, доля ее влияния в общей структуре изменчивости составляет 65,7%, вклады генотипа и водного дефицита примерно равные и составляют 15,3 и 13,0% (соответственно), сила взаимодействия факторов была равна 6,0%. В тоже время основным фактором, детерминирующим изменчивость длины пыльцевых трубок, является водный дефицит (38,4%), вклад температуры составлял 27,3%, генотипическая компонента изменчивости равна 8,5% (рис. 3). Результаты наших исследований показали, что условия года также значительно влияют на изменение признаков

пыльцы. Обработка данных трехлетних исследований показала, что 41,0% изменчивости признаков мужского гаметофита определяются условиями года, что даже несколько выше доли влияния абиотических факторов (38,5%).

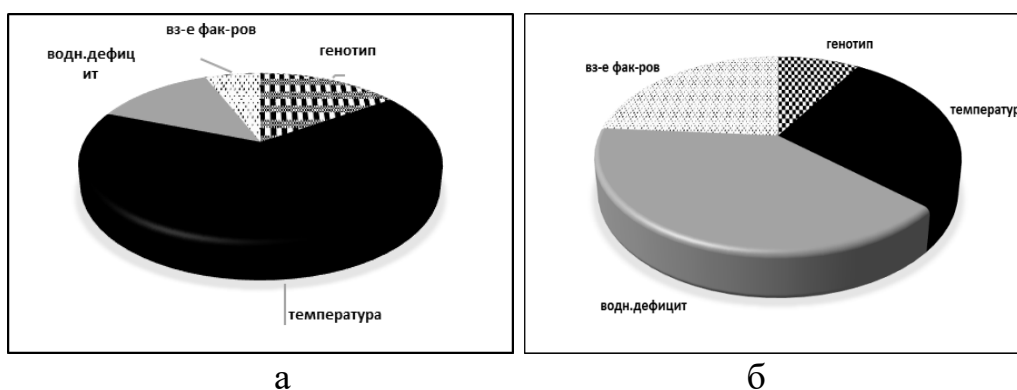


Рис. 3. Основные источники изменчивости признаков мужского гаметофита: (а – жизнеспособность пыльцы; б – длина пыльцевых трубок)

Таким образом, повышенная температура, водный дефицит и условия года являются основными источниками изменчивости признаков мужского гаметофита, действие генотипа также является значимым, но более слабым.

Учитывая то, что устойчивость компонентов репродуктивных структур является одним из показателей адаптивности растений, нами определена устойчивость мужского гаметофита. Как показали результаты проведенных исследований, у 8 сортов уровень термоустойчивости был высоким (табл.). Среди изученных генотипов только у двух сортов (Merisor и Nota) уровень устойчивости пыльцы был более низким и составлял 37,0 и 45,9%. Довольно хорошие показатели устойчивости к водному дефициту обнаружили пыльцевые зерна практически всех сортов томата. У большинства генотипов отмечен также высокий уровень устойчивости к совместному действию температуры и водного дефицита (табл.).

Таблица. Устойчивость мужского гаметофита томата

Сорта	Термоустойчивость, %	Уст-ть к водному дефициту, %	Уст-ть к темпер. + водн. дефицит, %
Elvira	66,9±1,74	84,6±1,92	86,2±1,99
Milenium	75,3±1,57	81,7±1,81	62,7±1,60
Tomis	55,2±1,78	63,6±1,8	66,1±1,78
Prestij	82,0±2,23	82,3±2,11	57,2±2,01
Mihaela	104,6±1,80	133,1±1,91	92,0±1,73
Jubiliar	71,7±1,88	64,2±1,87	47,9±1,77
Merisor	37,0±1,74	72,6±2,09	61,1±1,99
Nota	45,9±1,97	80,2±2,04	62,0±2,04
Victorina	80,5±1,46	68,7±2,45	-
Venet	98,0±1,38	75,4±2,38	-
НСР_{0,5}	2,35	1,80	2,66

Таким образом, сорта томата различаются по показателям качества мужского гаметофита и степени варьирования данных признаков, что позволяет выделять доноры устойчивости к стрессовым абиотическим факторам и в дальнейшем вовлекать их в селекционный процесс. Такой подход может быть реализован при использовании результатов генетических экспериментов в селекционных программах, направленных на повышение устойчивости.

Библиографический список

1. Новикова Л. Ю. Оценка влияния климатических факторов на продолжительность вегетации культурных растений в условиях изменения климата. Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде // Материалы Всероссийской научной конференции. Иркутск 10–13 июня 2013 г. Иркутск, 2013. С. 342–345.
2. Ерещенко О. В. Влияние экологических факторов на процесс формирования пыльцы березы повислой в условиях городской экосистемы // Известия алтайского государственного университета 3-1(83). 2014. С. 25–28.
3. Golam Faruq. Heat Tolerance in Tomato Life Science Journal 99(4):1936-1950. December 2012.
4. Harza P., Haque S., Sikder D. Breeding Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) Resistant High Temperature Stress. International Journal of Plant Breeding 2007. Global Science Books.
5. Collins F. Tardieu, and R. Tuberosa. Quantitative Trait Loci and Crop Performance under Abiotic Stress: Where Do We Stand. Plant Physiol. 2008 June; 147(2): 469–486.
6. Лях В. А., Сорока А.И. Пыльцевой отбор как способ интенсификации селекции масличных культур. Научно-технический бюллетень Института олійних культур НААН, № 20, 2014: 72–80.

**ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОВ ГРУШИ
ПОД ВЛИЯНИЕМ БАВ «РЕГЛАЛГ» И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В, Zn, Mn,
Mo, И В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТОДОВ ХРАНЕНИЯ**

В. Ю. Светличенко, А. П. Никуцэ, И. Д. Харя
*Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений (ИГФЗР),
г. Кишинев, Республика Молдова*

**CHANGES OF QUALITATIVE INDICATORS OF PEAR FRUITS UNDER
INFLUENCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCE REGLALG AND
MICROELEMENTS B, Zn, Mn, Mo, AND DEPENDING ON THE APPLIED
STORAGE METHODS**

V. Yu. Svetlichenko, A.P. Nikutsa, I. D. Harya.
*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection (IGPhPP),
Chisinau, Republic of Moldova*

Is carried out the comparative analysis of some biochemical and technological indicators of pear fruit before storage and in dynamics for identify optimal storage methods. It is established that the treatment of trees with biologically active substances and microelements during the growing season contributes to a greater accumulation of reserve substances in the fruits compared to the control variant. Processing fruits with an inhibitor of ethylene biosynthesis before placing them in storage is optimal.

Keywords: pear, storage, pectin, natural decline, inhibitor of ethylene biosynthesis, microelements, biologically active substance

Во время хранения в плодах груши происходят различные физические и физиолого-биохимические процессы, которые оказывают существенное влияние на их качество и сохраняемость. Одним из показателей качества и лежкости плодов являются пектиновые вещества. Наряду с другими полисахаридами они выполняют важную функцию в метаболизме плодов (Vujoreanu, 2010). С одной стороны пектины участвуют в создании опорных тканей, с другой – вовлекаются в обменные процессы клеток в период длительного хранения. Продукты их распада наряду с другими веществами (моносахариды, кислоты) могут служить энергетическим материалом (Арасимович, 1956; Бужореану и др., 1989). С изменением содержания пектиновых веществ уменьшается твердость плодов, что отражается на их товарном качестве. Сохранить качество и повысить

лежкость послеуборочных плодов, возможно при правильной организации их выращивания и хранения.

Материал и методы

Объектом исследования являлся сорт груши Ноябрьская, относящийся к группе зимних. Плоды хранили в течение 123 дней в холодильной камере – экспериментального комплекса «Карпотрон» ИГФЗР Молдовы.

На хранение они были заложены по следующей схеме: плоды с деревьев, обработанных препаратом БАВ «Реглалг» (биологически активное вещество), в концентрации 0,05%; плоды с деревьев, обработанных микроэлементами В, Zn, Mn и Mo в концентрации 0,1%, и плоды с деревьев, обработанных препаратом БАВ «Реглалг» в сочетании с микроэлементами.

Для хранения плодов груши применяли два метода:

1) обработка плодов препаратом «Фитомаг» (ингибитор биосинтеза этилена), в дозе 0,44 г/ 1 м³, t хранения 1°C;

2) контрольные плоды хранились при t 1°C.

Количественное содержание пектиновых веществ определяли по методу Ермакова, Арасимович (Ермаков, Арасимович, 1987); естественную убыль массы плодов определяли по методике Франчук Е. П. (Франчук и др., 1983); твердость плодов измеряли с помощью тестера давления (FT-327, Италия) оснащенного наконечником диаметром 11,3 мм, полученные значения выражали в кг/см²; статистическую обработку полученных результатов проводили по методике Доспехова Б. А. (Доспехов, 1979).

Результаты исследований

При хранении в плодах содержание пектиновых веществ, как правило, снижается. В результате перехода части протопектина в пектин уменьшается твердость плодов. Однако скорость превращения углеводов и характер их изменений зависят от разных факторов: условий выращивания плодов, степени зрелости, методов хранения и др. (Каздохов и др., 2017).

Исследования показали, что в начале хранения наибольший показатель содержания пектиновых веществ (2,77%), был выявлен в плодах груши собранных с деревьев, обработанных в период вегетации БАВ «Реглалг» в сочетании с микроэлементами В, Zn, Mn и Мо (рис. 1). Это указывает на то, что, обработка деревьев изучаемым препаратом и микроэлементами, способствует интенсивному биосинтезу запасных веществ в плодах, что создает основу для повышения их лежкости.

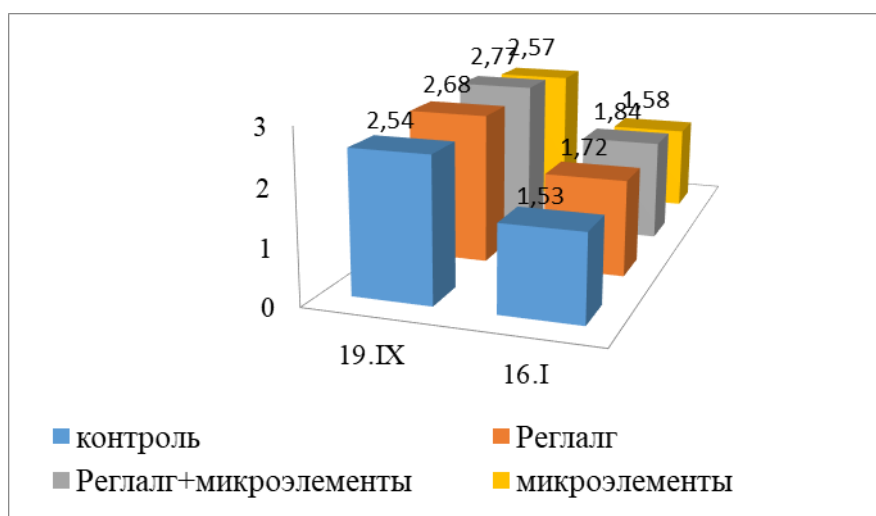


Рис. 1. Динамика изменения содержания пектиновых веществ в плодах груши сорта Ноябрьская, обработанных препаратом БАВ «Реглалг» и микроэлементами В, Zn, Mn и Мо

В процессе длительного хранения в исследуемых плодах груши содержание пектиновых веществ снижалось. Менее интенсивно этот процесс происходил в опытных образцах под влиянием ингибитора синтеза этилена (рис. 2). Результаты анализа показали, что разница между контрольными и обработанными плодами в конце хранения составила 21%.

Показано (рис. 2), что в зависимости от условий хранения, снижение содержания протопектина, также было неодинаковым. В плодах, обработанных препаратом «Фитомаг», в конце хранения содержание этого вещества было выше по сравнению с контрольным вариантом на 34,3%.

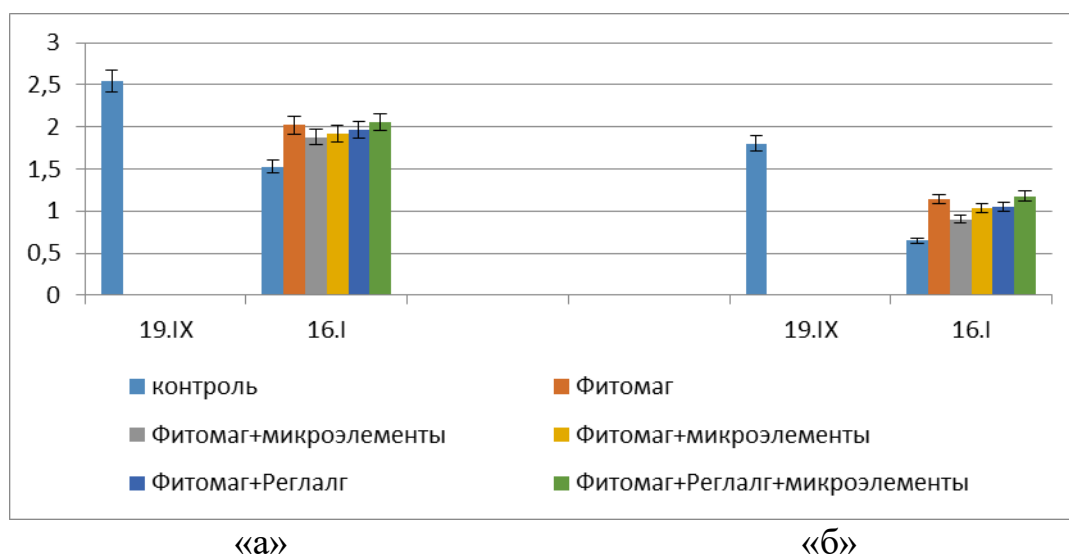


Рис. 2. Изменение содержания пектиновых веществ в плодах груши сорта Ноябрьская, обработанных препаратом «Фитомаг», («а» – сумма пектиновых веществ; «б» – протопектин)

Характерное при созревании плодов изменение содержания протопектина, обуславливающего прочность связи между клетками, соответствует изменениям механической прочности тканей (Причко и др., 2019). Проведенные опыты, позволили выявить, что показатель твердости плодов, обработанных ингибитором синтеза этилена, в конце хранения был выше на 1,11 кг/см² по сравнению с контрольным вариантом (табл. 1).

Таблица 1. Данные технологических показателей плодов груши при снятии с хранения, (период хранения – 123 дня)

Сорт	Метод хранения	Естественная убыль массы, %	Твердость плодов, кг/см ²
Ноябрьская	контроль	2,75	3,92
	Фитомаг	2,40	5,03
	Реглалг	3,32	3,97
	микроэлементы	3,56	3,75
	Реглалг + микроэлементы	3,42	4,28
	Реглалг + Фитомаг	2,88	5,08
	Микроэлементы + Фитомаг	3,15	5,02
	Реглалг + микроэлементы + Фитомаг	3,24	5,02
НСР, 5 %		0,20	0,13

Расход пектинов и других веществ в процессе дыхания, наряду с испарением влаги неизбежно сопровождается убылью массы плодов, эти потери называют естественными (ЕУМ). Сравнительно небольшие потери воды приводят к увяданию плодов, что происходит из-за небольшого содержания белковых веществ, обуславливающих низкую водоудерживающую способность протоплазмы. Удержанию влаги способствуют высокополимерные углеводы, но они, как и белки, по мере хранения переходят в растворимые формы или распадаются (Ципруш, Данилов, 1975). Водоудерживающая способность при этом уменьшается, и плоды увядают, становятся морщинистыми и теряют товарный вид (Арасимович, 1956; Сахарова, 1988). Естественная убыль неизбежна при различных методах хранения, но может быть снижена до минимума путем создания оптимальных условий.

Представлены результаты изменения ЕУМ исследуемых плодов при снятии их с хранения (табл. 1). Определено, что потери от ЕУМ плодов, обработанных препаратом «Фитомаг», снизились на 0,35% по сравнению с контролем.

Таким образом, была выявлена степень влияния БАВ «Реглалг», микроэлементов В, Zn, Mn, Mo и препарата «Фитомаг» на изменение качественных показателей плодов груши сорта Ноябрьская перед съемом и в период длительного хранения. Установлено, что обработка плодов ингибитором биосинтеза этилена, способствует сохранению их качества и продлению сроков хранения.

Выводы

1. Обработка деревьев в период вегетации препаратом «Реглалг» и микроэлементами, способствует интенсивному биосинтезу запасных веществ в плодах.

2. Проведенные исследования показали, что под влиянием препарата «Фитомаг» в изучаемых плодах груши сократился расход пектиновых веществ, а также снизилась естественная убыль их массы.

3. Применение ингибитора синтеза этилена способствовало сохранению структурной прочности и твердости тканей у исследуемых плодов груши.

Список литературы

1. Арасимович В. В. Хранение яблок в Молдавии. Кишинев, 1956. 64 с.
2. Арасимович В. В. и др. Биохимия культурных растений Молдавии. К.: Штиинца, 1962. 135 с.
3. Бужореану Н. С., Прохорова Л. Т., Гайковская Л. Е. Изменение состава полисахаридов плодов груши при длительном хранении в зависимости от сроков съема и зоны выращивания. Известия АНМ ССР. 1989. С. 19–23.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
5. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического анализа растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
6. Каздохов Х. К., Каскулова А. М., Гетоков О. О. Сохранность плодов груш в зависимости от способов их хранения. <https://novainfo.ru/article/14065>.
7. Причко Т. Г., Смелик Т. Л., Германова М. Г. Сохранение качественных показателей плодов яблони, обусловленных сортовыми особенностями и составом среды в регулируемой атмосфере // Научные труды СКФНЦСВВ. Т. 23 (2019). С. 253–258.
8. Сахарова Н. П. Хранение плодов и овощей. К.: Картя Молдовеняскэ, 1988. 3078. с.
9. Франчук Е. П., Лагова Э. В., Скрипников В. Ю. Проведение исследований по хранению плодов, ягод и винограда // Методические указания. Москва. 1983. 76 с.
10. Ципруш Р. Я., Данилов Г. В. Биохимические и гистохимические исследования изменения пектиновых веществ в яблоках при хранении. Труды КСХИ. Т. 149 (1975), с. 45–51.
11. Bujoreanu N. Formarea direcționată a fructelor pentru păstrare îndelungată. Ch.: Magna – Princeps SRL, 2010. 256 p.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТРЕБНОСТИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

В. Н. Сельмен

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова», Мещерский филиал, г. Рязань

Выращивание растений в светокультуре будет гарантировать продовольственную безопасность. Добыча в 2019 году углеводов и электроэнергии в 12,3 раза превосходит энергетический объём всей продукции растениеводства. КПД фотосинтеза в условиях светокультуры может быть около 10%. В случае критических ситуаций государство сможет найти для светокультуры энергетические резервы.

ENERGY NEEDS FOR THE INDUSTRIAL USE OF LIGHT CULTURE

V. N. Selmen

Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Scientific Research Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation, Meshchersky branch, Ryazan

The cultivation of crop products in light culture, indoors under artificial lighting attracts the possibility of guaranteed provision of food to the population in the face of possible natural, climatic and space disasters, «nuclear winter» and radioactive contamination of agricultural land.

It is necessary to determine the amount of energy required for the industrial use of light culture. For this, the volumes of coal, oil, gas, electricity generated in the country in 2019, as well as the gross fees of all types of crop production, were converted to a single comparable physical unit – the joule. In joules, the work performed, kinetic and potential energy, and heat are measured. In calculations, its multiple value was used – TJ (terajoule) – trillion J.

Hydrocarbon production and electricity production at hydroelectric power stations and nuclear power plants in Russia in 2019 amounted to 64081168 TJ. The gross harvest of all types of crop products in 2019 amounted to 5200605 TJ or 12.3 times less than the production of energy. 48% of the energy produced is exported from the country, and about 1% of the energy produced in the country is used for agricultural production.

It will be difficult to find new lands to increase food production in the country and in the world, but significant growth is expected in the energy sector. By the middle of the 21st century, they promise to master and bring to the mass consumer thermonuclear energy, which will give humanity unlimited energy reserves. Therefore, work on issues of light culture is becoming of great importance today.

Work on light culture is constrained by a very low efficiency of photosynthesis, which for field crops is from 0.5 to 2% and reaches under ideal conditions up to 3.5%. In greenhouse vegetable growing, the efficiency of photosynthesis is 3–5% and can be brought up to 9–11%. In light culture, subject to optimization and testing of all technological processes, we can also expect an efficiency of photosynthesis of about 10%. The use of pulsating lighting for plant lighting will halve the cost of electricity. According to estimates, for the cultivation of all crop products under artificial lighting, 68% of all energy produced in the country in 2019 will be required, which is currently unrealistic. However, the vegetable industry will require 0.28% of the country's annual energy production, for potatoes 1.20%. If necessary, the country will now be able to find energy

reserves (export 48%) for the partial production of crop products under artificial conditions.

Since 1932, the Federal State Budgetary Scientific Institution Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, has been dealing with light culture issues. At the Faculty of Agronomy and Biotechnology of the Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazeva in the master's program is preparing students in the specialty of phytotechnology and bioproduction systems. Work in this direction was also carried out in the Meshchersky branch of VNIIGiM.

Традиционное сельскохозяйственное поле не всегда сможет гарантированно снабжать нас продовольствием. Возможны катаклизмы природного, климатического и космического происхождения. Люди добавили к этим опасностям техногенные загрязнения и возможность ядерной войны, последствиями которой может стать «ядерная зима» и радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных угодий. Чтобы выжить, мы должны научиться производить существенную часть сельскохозяйственной продукции в помещениях, где живём и работаем.

Перспективы выращивания растениеводческой продукции под искусственным освещением в первую очередь определяются возможностью государства выделить необходимые для этого энергетические ресурсы. Различные отрасли энергетики пользуются своими традиционными единицами измерения – добыча нефти и угля в тоннах, газа в кубометрах, производство электроэнергии в киловатт-часах. Для расчёта берем электроэнергию, произведенную на гидравлических ГЭС и атомных станциях АЭС. Электричество, произведённое на тепловых станциях ТЭЦ, не учитывается, оно является в энергетике вторичным производным. Продовольствие – зерно, картофель, овощи, ягоды и фрукты традиционно исчисляются в тоннах и калориях; кормовые культуры в тоннах, в кормовых единицах (к. е.) и калориях, соотношение зерно : солома равняется 1 : 1. Продукция животноводства – мясо, молоко в расчёт не принимается, так как является производной от продукции растениеводства.

Требуется привести все эти показатели к одной сопоставимой физической единице. Такой единицей является джоуль – Дж. Его кратные единицы: кДж (килоджоуль) – тысяча Дж; МДж (мегаджоуль) – миллион Дж; ГДж (гигаджоуль)

– миллиард Дж; ТДж (тераджоуль) – триллион Дж. В джоулях измеряются произведенная работа, кинетическая и потенциальная энергия, теплота (Чертов, 1997).

Для перевода в джоули продукции энергетики и растениеводства воспользовались следующими соотношениями:

калория международная – 1 кал = 4,1868 Дж;

киловатт час – 1 кВт ч = 3,6 миллиона Дж (Чертов, 1997).

Учитывалась теплота сгорания угля, нефти, газа (Итинская, Кузнецов, 1982), калорийность всех видов продукции растениеводства (Поспелов, Долгодворов, Жеруков и др., 2006).

Данные о добыче в стране угля, нефти, газа и производстве электроэнергии, а также о валовых сборах всех видов растениеводческой продукции в 2019 году получены из краткого статистического сборника Росстата «Россия в цифрах. 2020» (Россия в цифрах. 2020). На этом основании определён размер производства в стране в 2019 году первичных энергоносителей и продукции растениеводства в сопоставимых энергетических единицах – тераджоулях, 1 ТДж = 10^{12} Дж. Представленные в таблице кормовые культуры и сено по данным 2011 года, после этого года валовые сборы и урожайность кормовых культур перестали отражаться в статистической отчётности. Данные в таблице 1.

Из данных таблицы 1 видно, что ежегодная добыча углеводородов и производство первичной электроэнергии – 64081168 ТДж в 12,3 раза превосходят всю производимую в стране товарную и побочную продукцию растениеводства – 5200605 ТДж. Из страны экспортируется 73% от добычи нефти, 47% добычи угля, 30% природного газа, 2% электроэнергии (Россия в цифрах.2020). Из общего объёма произведенной в стране энергии в количестве 64081168 ТДж экспортируется 31075147 ТДж или 48%. На нужды сельскохозяйственного производства выделяется около 1% произведенной в стране энергии. Мы безвозвратно используем накопленные за счёт фотосинтеза

в предыдущие исторические эпохи запасы углеводородов, которые иссякнут в ближайшем будущем.

Таблица 1. Оценка продукции энергетики и растениеводства Российской Федерации в 2019 году в сопоставимых единицах

Виды добытой и произведённой продукции	Производство в традиционных единицах измерения	Энергетический объём продукции, ТДж	В % к производству энергии в стране
Энергетика	–	64081168	100
в т.ч. уголь	439 млн. т	12867090	20,08
нефть	561 млн. т	23487387	36,65
природный газ	738 млрд. м ³	26262571	40,98
электроэнергия ГЭС и АЭС	405 млрд. кВт·ч	1458000	2,28
нетиповые электростанции	1,7 млрд. кВт·ч	6120	0,01
Продукция растениеводства	–	5200605	8,12
в т. ч. зерновые	121,2 млн. т	2283529	3,56
солома зерновых культур	121,2 млн. т	1684680	2,63
сахарная свёкла	54,4 млн. т	261120	0,41
масличные культуры	22,8 млн. т	540178	0,84
картофель	22,1 млн. т	76687	0,12
овощи	14,1 млн. т	18147	0,03
плоды, ягоды, виноград	4,2 млн. т	8404	0,01
кукуруза на силос	23,0 млн. т	93127	0,15
кормовые корнеплоды	1,3 млн. т	5720	0,01
сено многолетних трав	9,9 млн. т	95416	0,15
сено однолетних трав	1,6 млн. т	15050	0,18
сено естественных сенокосов	12,3 млн. т	118547	0,20

Выход в переходе на возобновляемые источники энергии. В настоящее время доля электроэнергии нетиповых электростанций (ветровые, приливные, геотермальные электростанции, солнечные батареи и т. д.) в нашей стране ничтожна – 0,01% (Россия в цифрах. 2020). В других странах эти направления активно развиваются. Главное направление – овладение термоядерной энергией. По прогнозам до массового потребителя термоядерная энергия дойдёт к середине XXI века.

В энергетике произойдёт революционный скачок, к которому надо заранее подготовиться. К выходу термоядерной энергетики на массового потребителя

нужно иметь пакет отработанных российских технологий по её использованию. В нашем случае – обработка светотехнологии.

Рассчитаем количество энергии, необходимой для выращивания растений под искусственным освещением. КПД фотосинтеза очень низок, составляет для полевых культур 0,5 – 1,0 – 2,0%. При оптимальном физико-механическом и агрохимическом составе почвы, соблюдении сроков посева и густоты стояния, требований по орошению, минеральному питанию, борьбе с вредителями и болезнями, выходе на потенциальный урожай сорта КПД фотосинтеза в поле может достигать 3,5% и более (Каюмов, 1989).

Опыт тепличного овощеводства свидетельствует, что КПД фотосинтеза составляет 3%, а в некоторых случаях может возрастать до 5%. В условиях интенсивной светокультуры при выращивании растений на плёночной корнеобитаемой среде, при неограниченном снабжении корней водой, минеральными веществами и воздухом, КПД фотосинтеза в период налива плодов достигает 9 – 11% (Брызгалов, Советкина, Савинова, 1983). Для расчётов необходимого количества энергии для искусственного освещения берём КПД фотосинтеза 10%.

Следовательно, для производства всей растениеводческой продукции в нашей стране в количестве 5200605 ТДж в искусственных условиях, в виде света на растения должно поступить в 10 раз большее количество энергии - 52006050 ТДж. Светодиодные лампы имеют КПД по преобразованию электроэнергии в свет – 60%. Общая потребность в электроэнергии в случае применения светодиодных светильников составит 86676750 ТДж. Имеются разработки по освещению растений пульсирующим облучением с частотой 50 Герц, соответствующей продолжительности темновой стадии фотосинтеза. Затраты электроэнергии на освещение снижаются в два раза (Кондратьева, 2003). В случае использования этих разработок затраты электроэнергии на искусственное освещение также снизятся в два раза и получатся в пределах 43338375 ТДж или

68% от всей произведённой в стране в 2019 году энергии. В настоящее время это нереально. Однако для отдельных отраслей, например овощеводства, переход на полное производство в искусственных условиях потребует 349633 ТДж или 0,28% от годового производства в стране энергии, для картофеля 1,20%.

В случае критических ситуаций с производством растениеводческой продукции в открытом грунте страна уже сейчас сможет найти энергетические резервы (экспорт 48%) на частичное производство растениеводческой продукции в искусственных условиях.

Изучением процессов выращивания растений под искусственным освещением в нашей стране занимается с 1932 года ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург. На факультете агрономии и биотехнологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева в магистратуре ведётся подготовка студентов по специальности фитотехнологии и биопродукционные системы. Работами в этом направлении занимались и в Мещерском филиале ВНИИГиМ, г. Рязань (Сельмен, Ильинский, Виноградов, 2018; Сельмен, 2019).

Список литературы

1. Чертов, А. Г. Физические величины (терминология, определения, обозначения, размерности, единицы) [Текст] / А. Г. Чертов // Справочник – М.: Аквариум, 1997. – 335 с.: ил.
2. Итинская, Н. И. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям [Текст] / Н. И. Итинская, Н. А. Кузнецов // – М.: Колос, 1982. – 208 с., ил.
3. Пospelов, Г. С. Растениеводство [Текст] / Г. С. Пospelов, В. Е. Долгодворов, Б. Х. Жеруков и др.; под ред. Г. С. Посыпанова // – М.: Колос С, 2006. – 612 с.: ил.
4. Россия в цифрах. 2020: Краткий стат. сб. / Росстат – М., 2020.
5. Каюмов, М. К. Программирование продуктивности полевых культур [Текст] / М. К. Каюмов // Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 368с.: ил.
6. Брызгалов, В. А. Овощеводство защищённого грунта [Текст] / В. А. Брызгалов, В. Е. Советкина, Н. И. Савинова; под ред. В. А. Брызгалова // – Л.: Колос, 1983. – 352 с., ил.
7. Кондратьева, Н. П. Повышение эффективности электрооблучения растений в защищённом грунте [Текст] / Н. П. Кондратьева // Дисс. докт. техн. наук, М., 2003.
8. Сельмен, В. Н. Влияние светодиодных ламп на образование фитомассы растений [Текст] / В. Н. Сельмен, А. В. Ильинский, Д. В. Виноградов // Вестник Рязанского агротехнологического университета имени П. А. Костычева. – 2018. – № 4(40). – С. 46–52.
9. Сельмен, В. Н. Растениеводство без поля / В. Н. Сельмен // Сельский механизатор. – 2019. – № 10. – С. 34–35.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕЖВИДОВЫХ ЛИНИЙ ТОМАТОВ В КУЛЬТУРЕ ЗАРОДЫШЕГО КАЛЛУСА *IN VITRO*

Ю. Н. Сыромятников, Е. Д. Котенко, Д. В. Лысий
*Институт генетики, физиологии и защиты растений,
Кишинев, Республика Молдова*

PRODUCTION OF INTERSPECIFIC TOMATO LINES IN THE CULTURE OF THE EMBRYOGENIC CALLUS *IN VITRO*

Iu. N. Siromeatnicov, E. D. Cotenco, D. V. Lâsii
*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,
Chisinau, Republic of Moldova*

As a result of distant hybridization of the wild tomato species *Lycopersicon peruvianum*, and *Lycopersicon chilense* with the varieties of *Solanum lycopersicum* such as Викторина, Призер, Факел, Пето 86, promising early ripe tomato lines were obtained. Selected interspecific lines are characterized by a high degree of fruit setting and fruit ripening, increased productivity and increased biochemical parameters. In order to overcome incompatibility during interspecific hybridization, was attested that *in vitro* embryo culture and embryonic callus were more effective. The aim of this work is to study the valuable forms of tomato interspecific lines *S. lycopersicum* x *L. peruvianum* var. *dentatum* and *Lycopersicon chilense* which will subsequently be used to create new varieties with a complex of economically important traits, as well as evaluate selections for some economically valuable traits.

Ведение

Широкое распространение томатов во многих странах мира объясняется ценными питательными и диетическими качествами плодов, высокой урожайностью, способностью развиваться и плодоносить в разных климатических зонах.

Очевидно, что особое внимание уделяется адаптивной селекции, которая позволяет создавать новые сорта с повышенной продуктивностью и устойчивостью к абиотическим стрессорам. Особое значение в аграрном секторе представляют сорта, которые имеют высокую однородность, своеобразие, стабильность урожая и качества плодов в различных условиях окружающей среды. Наиболее приоритетным направлением в стратегии улучшения растений на этапе адаптивной интенсификации в сельском хозяйстве является сочетание устойчивости сортов к абиотическим стрессорам среды с высоким уровнем урожайности и качества плодов. Сложный генетический детерминизм количественных признаков, включая устойчивость к засухе, препятствует успеху процесса размножения, целью которого является создание генотипов, в которых можно объединить несколько ценных признаков.

В результате отдаленной гибридизации интерес к селекционеру также подчеркивается спектром генетической изменчивости, который повышает эффективность отбора генотипов с высокой продуктивностью и повышенной устойчивостью к стрессовым воздействиям окружающей среды [Гусева, 1989]. Одной из основных задач улучшения является грандиозное сочетание в одном и том же разнообразии высокой продуктивности и устойчивости к стрессорам (засухе) [Jacotă, 2008].

Из данных литературы было показано, что длительное воздействие высоких температур 30–35°C на томаты во время связывания плодов приводит к стерильности растений [Уралец, Грати, Андриющенко, 1992, Sîrmeatnicov, Jacotă, 2002, Sîrmeatnicov, 2002, Sîrmeatnicov, Cotenco, Ciobanu, Rusnac, 2016, Sîrmeatnicov, 2016].

У скрещиваемых видов при отсутствии гомологичных и гомеологичных создаются особые трудности в рекомбинации их наследственного исходного материала. Однако, нередко является препятствием в создании сортов с желательными совмещающимися признаками. Во многих последующих поколениях большая гетерогенность затрудняет получать стабильных сортов. Использовали, все методы по данным литературам и ничего не получилось.

К числу важнейших направлений использования генетического потенциала рода *Lycopersicon Tourn.* можно отнести прежде всего такие, как получение скороспелых форм, повышение биологической ценности плодов путем увеличения содержания в них сухих веществ, β -каротина, аскорбиновой кислоты, создание сортов с комплексной устойчивостью к болезням. Морфобиологическое описание выделившихся форм проводили по следующим параметрам: высота основного побега, число плодоносящих побегов, опушенность стебля, габитус куста, размер, расчлененность и расположение листьев, степень их гофрированности, окраска листа. Тип и размер соцветия, высота закладки первой кисти, тип цветка и его окраска.

Характер сочленения плода с плодоножкой; форма и окраска плода. Кроме того, учитывались и хозяйственно полезные признаки, как: урожайность, средняя масса плода, длина вегетационного периода, содержание сухих веществ и сахаров в плодах.

Выявлены линии томатов с хозяйственно ценных признаков высоко продуктивные, крупноплодные, с высокими биохимическими показателями.

Материал и методика исследований

Исходным материалом для проведения исследования являлись 10 перспективных линий (Л.20; Л.25; Л.47; Л.49; Л.55; Л.63;Л.64; Л.69; Л.121; Л.317), полученные при межвидовой гибридизации в культуре *in vitro*, в лаборатории «Генетика устойчивости растений» на экспериментальных поля института и контрольные сорта Викторина, Призер, Факел, Пето 86. Эти генотипы были посеяны в полевых условиях, без рассадную культуру по схеме (90×50)×35, в 3 повторности. В период вегетации провели фенологические наблюдения (появление всходов, цветение, плодоношение), биометрические измерения (длина основного побега, длина и ширина листьев, над которым закладывалось первое соцветие, количество листьев между последующими соцветиям на главном стебле, количество пасынков и соцветий и др.). Статистическую обработку полученных данных проводили по методике (Доспехова,1985). и программы STATGRAPHICS Plus и Статистика.

Результаты исследований и их обсуждение

Значительное преимущество посева помидоров семенами в грунт состоит в том, что они лучше переносят засуху. Вместе с тем при безрассадной культуре молодые растения томатов приспособляются и к более экономному расходованию влаги. Поэтому молодые растения быстро развивают мощную корневую систему, идущую в глубокие слои почвы, доходя до 1,5–2,0 м. При такой корневой системе растения лучше обеспечивают себя влагой и пищей в рост и развития растений. Преимущество безрассадной культуры помидоров состоит в том, что не требуется затрат рабочей силы и много расходов.

Полученные межвидовые линии томатов потомства *Lycopersicon peruvianum var dentatum*, *Lycopersicon chilense* и *Lycopersicon hirsutum var. glarvatum* с культурным томатом *Solanum lycopersicum L.* характеризуются высокой комбинативной изменчивостью, особенно по основным хозяйственно ценным признакам. Нами было исследовано 10 перспективных линий и 4 сорта в качество контроля.

Таблица 1. Характеристика межвидовых линий по основным показателям

Генотип	Длина основного побега, см	Коэфф. вариации, Cv, %	Высота плода, мм	Коэфф. вариации, Cv, %	Диаметр плода, мм	Коэфф. вариации, Cv, %	Индекс плода
Л.20	55,9±1,04	7,23	6,0±0,05	3,38	7,1±0,02	1,21	0,86
Л.25	60,6±1,00	6,42	6,1±0,06	4,84	4,8±0,05	4,81	1,27
Л.47	63,8±0,64	3,89	5,5±0,07	3,99	4,8±0,07	4,35	1,15
Л.49	61,6±1,06	6,66	5,5±0,08	4,43	6,1±0,11	5,96	0,90
Л.55	88,3±1,09	4,78	4,9±0,10	6,20	5,4±0,11	6,49	0,91
Л.63	55,5±0,51	3,53	5,0±0,05	2,90	4,7±0,08	5,28	1,1
Л.64	61,7±0,83	5,22	4,9±0,06	4,02	4,6±0,07	5,06	1,07
Л.69	72,1±0,43	2,13	5,7±0,08	4,75	5,1±0,07	4,49	1,12
Л.121	57,9±0,47	3,12	5,0±0,01	6,08	3,0±0,09	9,46	1,67
Л.317	50,7±0,43	3,29	5,5±0,10	9,56	4,7±0,05	3,40	1,19
Викторина (кон)	57,7±0,55	3,69	6,1±0,02	1,32	7,9±0,01	0,66	0,77
Факел (контроль)	60,0±1,24	8,03	4,7±0,09	6,23	4,7±0,09	6,23	0,92
Призер (кон)	55,0±0,64	4,57	5,4±0,11	6,51	4,5±0,10	6,96	1,2
Пето 86 (кон)	56,9±0,53	3,60	4,5±0,05	3,66	4,2±0,05	3,92	1,07

Из данных представленные в таблицы 1 по оценки перспективных линиях томата из конкурсного питомника по высоте главного стебля, ясно видно, что 8 линий являются детерминантные с минимальной высоты от 50,7 до 63,8 см. и с максимальной от 72,1–88,3 см. которые считаются как супердетерминантные. Как видно из данных таблицы контрольные сорта немного стабильнее. Высота и диаметр плода зависит от генотипа и условия среды. Взаимодействие «генотип×среда» определяется как доля фенотипической вариации, которая возникает из-за несоответствия генетических и негенетических эффектов. Это означает, что при изучении генотипов в различных средах происходит изменение их фенотипических проявлений значений в связи с различной нормой реакции генотипа на среду. Наименьшее значения индекса формы плода у перспективных линии составил (0,86 и 1,07) и наибольшее (1,2–1,67). Изменение признака «индекс формы плода» тесно связано с изменением количества семенных камер (коэффициент корреляции 0,68), изменением диаметра плода (коэффициент корреляции 0,73). Другими словами, изменение индекса плода происходит из-за изменения количества семенных камер, которые влияют на изменение ширины плода. 4 линии имели округлую форму плода (0,86–1,07), 3 линии округлоовальную (1,1–1,15), 2 линии овальную (1,17–1,27) и удлиненную форму

одна линия (1,67). Наиболее стабильными по признаку «индекс формы плода» оказались контрольные сорта с индексом (0,77–1,2).

Исследования показали, что линии с детерминантным типом куста существенно превосходили по урожаю товарных плодов образцы с супердетерминантным типом растений. Эта закономерность наблюдалась при сравнении между собой низкорослых и среднерослых образцов.

Масса плода у изучаемых линий оказалось в пределах от 38 г. до 155,6 г. Наибольшая масса плода была отмечена у линии 20–155,6 г. и линии 25–146,0 г.

Коэффициент вариации варьировал 11,6 и 20,5%. Наименьшая масса плода оказалось у линии 121–28 г.

Таблица 2. Общая характеристика межвидовых линий по некоторым признакам плоды

Генотип	Масса плода, г	Коэфф. вариации, Cv, %	Толщина перикарпия, мм	Коэфф. вариации, Cv, %	Толщина мезокарпия, мм	Коэфф. вариации, Cv, %	Кол-во семенных камер
Л.20	155,6±4,07	11,62	0,78±0,02	14,72	5,7±0,05	8,50	5,7±0,3
Л.25	146,0±6,68	20,46	0,71±0,01	13,79	5,5±0,08	7,75	6,6±0,5
Л.47	81,0±1,93	7,58	0,5±0,28	17,87	3,4±0,04	4,02	2,7±0,2
Л.49	121,0±7,2	18,82	0,6±0,02	12,72	4,2±0,05	3,72	4,0±0,3
Л.55	82,8±4,27	16,31	0,5±0,02	12,20	2,9±0,02	2,38	3,0±0,1
Л.63	61,0±2,82	14,60	0,6±0,02	10,71	2,4±0,07	8,68	3,0±0,2
Л.64	61,0±3,13	16,28	0,6±0,07	19,57	2,4±0,04	5,08	3,0±0,2
Л.69	88,0±2,31	8,30	0,5±0,28	17,87	3,4±0,04	4,02	3,0±0,2
Л.121	28,0±1,13	12,89	0,4±0,03	26,35	2,0±0,05	8,27	2,0±0,2
Л.317	70,0±3,37	15,24	0,6±0,25	12,72	3,2±0,04	4,00	3,0±0,2
Викторина (кон.)	153,4±4,73	13,80	0,7±0,02	11,75	5,2±0,05	3,75	5,0±0,2
Факел (кон.)	57,2±2,27	12,57	0,6±0,02	8,07	3,6±0,02	1,48	3,0±0,2
Призер (кон.)	59,0±2,90	15,57	0,6±0,03	13,61	3,3±0,02	5,68	3,0±0,1
Пето 86 (кон.)	48,0±1,76	11,62	0,6±0,03	12,69	3,2±0,05	5,38	3,0±0,2

У контрольных сортов наибольшая масса плода было у сорта Викторины и наименьшая у Пето 86. Следовательно известно, что наследование массы плода носит промежуточный характер. Проведен анализ зависимости признака «индекс плода» от признака «толщина перикарпия плода» (табл. 2). Полученные корреляции говорят о том, что связь между признаком индексом и толщиной стенок плода отсутствует или слабо выражена, значит форма плода не зависит от

данного показателя. У признака «толщина мезокарпия» коэффициент вариации составил 2,38–8,68% и 3,0–5,0% у контрольных сортов. По количеству семенных камер межвидовые линии относились к двум, трем, трем-четырем и более камерным. Урожайность изучаемых межвидовых перспективных линий изменялась в зависимости от массы плода и от условия выращивания. Максимальная урожайность была получена у линии 20; 25 (56,8–51,1) т/га., и наименьшую урожайность на уровне (36,3–49,5 т/га). Коэффициент вариации был (5,64–8,30%).

Таблица 3. Характеристика межвидовых линий по признакам продуктивности

Генотип	Урожайность, т/га	Коэфф. вариации, Cv, %	Период вегетации, дни	Коэфф. вариации, Cv, %	Содержание сухих веществ, %	Содержание сахаров, %
Л.20	56,8±3,0	9,95	107,3±2,3	4,28	6,5±0,03	5,9±0,02
Л.25	51,1±2,05	7,65	110,0±2,1	6,25	6,9±0,03	7,3±0,03
Л.47	42,4±0,85	6,34	92,0±1,5	2,75	8,3±0,001	7,60±0,19
Л.49	49,5±0,87	5,64	91,0±1,9	3,52	6,97±0,001	5,63±0,03
Л.55	45,6±1,1	7,79	90,0±2,6	5,10	4,32±0,003	4,23±0,28
Л.63	42,1±0,86	6,49	93,0±2,6	4,93	6,64±0,003	6,03±0,03
Л.64	49,0±0,72	4,63	87,0±1,5	2,90	8,62±0,001	7,63±0,07
Л.69	42,4±1,09	7,75	94,0±2,6	4,93	6,32±0,003	5,93±0,22
Л.121	36,3±0,95	8,30	87,0±0,6	1,15	6,4±0,003	5,70±0,03
Л.317	42,0±0,92	6,98	91,0±1,2	1,30	6,32±0,003	5,83±0,03
Викторина (кон)	45,9±1,08	7,82	95,0±4,4	8,18	4,33±0,001	4,17±0,17
Факел (контроль)	43,4±0,81	5,92	101,0±2,4	4,11	5,33±0,003	5,2±0,33
Призер (кон)	33,4±0,75	7,08	98,0±1,7	3,06	5,62±0,003	5,0±0,07
Пето 86 (кон)	38,4±0,56	4,58	99,0±1,5	2,55	5,33±0,003	5,2±0,03

По данным других авторов урожайность томата находится в высокой положительно фенотипической и генотипической зависимости от количества плодов на растении. Между процентом образовавшихся завязей и средней массой плода существует обратная линейная связь, указывающая на генетическое сцепление или физиологическую связь между размером плода и процентом цветков, завязавших плоды. Это свидетельствует о перспективности селекции на увеличение количества плодов на растении (Авдеев, 1982). На основании фенологических наблюдений линии по скороспелости выделены 2

сверхранние; 6 – ранние и 2 – среднеранние. Данный признак очень важен, чем раньше начинается плодоношение, тем выше экономические показатели культуры томата в защищенном грунте.

В итоге для всех линий состав сахаров в плодах составило 4,3–8,6%, для формы стандартов 4,1–5,2%. В связи с этим, дикие формы томатов являются геноносителями таких ценных признаков, как устойчивость к основным болезням и неблагоприятным факторам среды, а также высокого содержания сухих веществ и сахаров в плодах, межвидовая гибридизация имеет большое значение при получении и создании линий и сортов, отвечающих требованиям современного производства.

Выводы

1. Комплексное изучение признаков межвидовых линий показал, что растения с детерминантным типом куста существенно превосходили по урожаю товарных плодов образцы с супердетерминантным типом растений.

2. Масса плода у изучаемых линий оказалось в пределах от 38 г до 155,6 г. Наибольшая масса плода была отмечена у линии 20–155,6 г и линии 25–146,0 г. Коэффициент вариации варьировал 11,6 и 20,5%. Наименьшая масса плода оказалось у линии 121–28 г.

3. По количеству семенных камер межвидовые линии относились к двум, трем, трем-четырем и более камерным.

4. Максимальная урожайность была получена у линии 20; 25 (56,8–51,1) т/га, и наименьшую урожайность на уровне (36,3–49,5 т/га). Коэффициент вариации был (5,64–8,30%).

5. По скороспелости выделены линии: 2 сверхранние; 6 – ранние и 2 – среднеранние.

6. Для всех линий состав сахаров в плодах составило 4,3–8,6%, для формы стандартов 4,1–5,2%.

Список литературы

1. Jacotă A. Controlul genetic și molecular al rezistenței plantelor la temperaturi extreme // Probleme actuale ale geneticii, fiziologiei și ameliorării plantelor. Materialele Conferinței Naționale cu participare Internațională, 9-10 octombrie 2008, Chișinău 2008, p. 91–104.
2. Sîrmeatnicov Iulea, Jacotă A. Obținerea «*in vitro*» a unor forme de tomate somaclonale precoce cu rezistență sporită la temperaturi joase. Fiziologia și biochimia plantelor la început de mileniu: Realizări și Perspective”, Chișinău, 2002, p. 264–266.
3. Sîrmeatnicov Iu. Variabilitatea somaclonală și indusă la hibridii interspecifici de tomate. Autoref. tezei de doctor, Chișinău, 2002, 20 p.(1,0).
4. Sîrmeatnicov Iulia; Cotenco Eugenia; Ciobanu Renata; Rusnac Ruxanda. Inducerea variabilității genetice la; tomate *Solanum Lycopersicon L.* In: «*Biotehnologii avansate - realizării și perspective (IV simp. naț. cu part. intern.)*». Chișinău, 2016. p. 50.
5. Sîrmeatnicov Iulia. Mecanismul eredității unor caractere specifice la tomate, *Solanum Lycopersicon L.* obținute *in vitro*. In: «*Biotehnologii avansate - realizării și perspective (IV simp. naț. cu part. intern.)*». Chișinău, 2016. p. 116.
6. Авдеев Ю. И. Селекция томатов Кишиневу 1982. С. 282
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
8. Гусева Л. И. Методы селекции томата для интенсивных технологий. Кишинёв: Штиинца, 1989, 223 с.
9. Уралец Л. И., Грати М. И., Андрющенко В. К. Получение межвидовых гибридов томата *L. esculentum* x *L. peruvianum* в культуре эмбриокаллуса // Сельскохозяйственная биология, № 1, 1992, с. 29–35.

НОВЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА ЗАПАСОВ ВЛАГИ

Л. Л. Тарасова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской
Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России»)*

Разработан новый подход к прогнозированию запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы ко времени возобновления вегетации, основанный на кластерном анализе влагозапасов осенью, весной и количества осадков за осенне-зимний период. Разработанный в середине прошлого столетия Л. А. Разумовой метод прогноза, основу которого составляют регрессионные зависимости между изменением запасов влаги за осенне-зимне-весенний период, количеством осадков, выпавших за эти же периоды, и дефицитом запасов влаги в почве осенью, имеет высокую оправдываемость в первую очередь из-за метода оценки качества долгосрочных прогнозов. На современном этапе новый метод прогноза дает хорошие результаты, но в дальнейшем мы надеемся на их улучшение.

NEW METHOD FOR PREDICTING MOISTURE RESERVES

L. L. Tarasova

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation
(Hydrometcenter of Russia)*

A new approach has been developed to predict the reserves of productive moisture in the meter layer of soil by the time of the resumption of vegetation, based on a cluster analysis of moisture reserves in autumn, spring and the amount of precipitation in the autumn-winter period. When analyzing the obtained values, 5 clusters are distinguished: poor reserves (less than 80 mm), insufficient (80–100 mm), satisfactory (101–120 mm), good (121–160 mm) and excellent (more than 160 mm). The forecast method developed in the middle of the last century by L.A.Rasumova, which is based on regression relationships between changes in moisture reserves during the autumn-winter-spring period, the amount of precipitation that fell during the same periods, and the shortage of moisture reserves in the soil in autumn, has a high justification primarily due to the method of assessing the quality of long-term forecasts. We calculated forecasts of spring moisture reserves according to the L. A. Rasumova's method for the period 2004–2020. The justifiability of forecasts according to the criterion was very high (95–99%), however, comparing forecast maps with maps of productive moisture reserves in the meter layer of soil under winter crops (according to the first definitions in spring), in a number of years significant discrepancies are visible in the southern regions. For the entire period, the correct hit in the humidification cluster was obtained in 52% of forecasts, in 20% the forecast is underestimated, and in 27% it is overestimated, and in almost half of them the forecast is overestimated by 2 gradations (i.e., good moisture reserves were predicted, and in fact they were insufficient). In the southern regions, the standard deviation is high, which leads to good justifiability. At the present stage, the new forecast method gives good results. The justification of the developed method is 70%. The best justifiability is obtained for gradations good and satisfactory moisture reserves (67–87%), worse with bad (55%). Gradation of excellent moisture reserves was not included in the assessment, since 100% was justified in this case.

Запасы продуктивной влаги в почве являются основным продуктивным ресурсом для роста биомассы агроценоза, а в итоге и для формирования урожайности с.-х. культур. Влагозапасы в большинстве регионов формируются за счёт накопления осадков осенне-зимнего периода, и в первую очередь за счёт снежного покрова [3]. Именно в силу данного обстоятельства по величине весенних запасов можно судить о видах на урожай, а в случае дефицита влаги предпринять меры для минимизации возможного ущерба.

В настоящее время в агрометеорологических подразделениях Росгидромета в конце зимы составляется прогноз запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы ко времени возобновления вегетации озимых зерновых культур. Метод прогноза был разработан в середине прошлого столетия Л. А. Разумовой [2]. Основу метода составляют регрессионные зависимости между изменением запасов влаги за осенне-зимне-весенний период, количеством осадков, выпавших за эти же периоды, и дефицитом запасов влаги в почве осенью (Разумова, 1957). При анализе полученных значений выделяется 5 кластеров: плохие запасы (менее 80 мм), недостаточные (80–100 мм), удовлетворительные (101–120 мм), хорошие (121–160 мм) и отличные (более 160 мм). Затем данные в виде пуансонов различной закрашки наносятся на карту. Полученная карта представляется в Правительство Российской Федерации, Министерство сельского хозяйства и другим заинтересованным ведомствам. Аналогичные материалы распространяют территориальные подразделения Росгидромета. Особенно востребованы прогнозы влагозапасов в засушливых регионах нашей страны.

Согласно РД 52.27.284-91 критерием качества метода долгосрочного прогноза считается попадание в доверительный интервал прогнозируемой величины, а ширина интервала определяется величиной стандартного отклонения [1]. Нами были рассчитаны прогнозы весенних запасов влаги за период 2004–2020 гг. Оправдываемость прогнозов согласно критерию была

очень высокой (95–99%), однако, сопоставляя карты прогноза с картами запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы под озимыми культурами (по первым определениям весной), в ряде лет в южных районах видны значительные расхождения. С одной стороны, такие расхождения могут быть объяснены формальностью метода при определении кластера (119 мм – удовлетворительные, а 121 мм – хорошие, однако величина влагозапасов исходно определяется с погрешностью 10%, т.е. фактически 119 и 121 это одно и то же). При исключении из рассмотрения таких случаев, картина улучшилась незначительно. За весь период верное попадание в кластер увлажнения получено в 52% прогнозов, в 20% прогноз занижен, а в 27% завышен, причем почти в половине из них прогноз завышен на 2 градации (т. е. прогнозировались хорошие запасы влаги, а по факту они оказались недостаточными). Вероятно, в южных районах величина стандартного отклонения высока, что и приводит к хорошей оправдываемости. Поэтому представляется важным изучить пространственную структуру запасов влаги и разработать новый, более точный метод прогноза запасов влаги к началу вегетационного периода.

В качестве примера рассмотрим частоту по градациям по станции Белогорка (Ленинградская область) и станцию Гигант (Ростовская область) (табл. 1, 2).

Как видно из табл. 1 в Ленинградской области в осенний и весенний периоды увлажнение почвы высокое, лишь в отдельные годы величина влагозапасов в метровом слое почвы составляет менее 160 мм. Разность между средним значением и стандартным отклонением весной и осенью также более 160 мм. В таком случае прогнозировать запасы влаги весной чрезвычайно просто – они будут отличными.

Таблица 1. Средние значения, стандартное отклонение и частота по градациям запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы по станции Белогорка (Ленинградская область)

	апрель	май	июнь	июль	август	сент.	октябрь
среднее	188	173	152	140	154	179	190
ст. откл.	20,7	26,9	29,1	35,9	33,2	25,9	21,0
Частота влагозапасов по градациям							
отличные	86%	62%	46%	35%	50%	63%	90%
хорошие	14%	36%	31%	35%	26%	37%	5%
удовлетворит.	0%	0%	4%	6%	13%	0%	2%
недостаточные	0%	2%	19%	18%	5%	0%	2%
плохие	0%	0%	0%	6%	5%	0%	0%

Совершенно иная картина по данным станции Гигант (Ростовская область) (табл. 2). В осенний период практически равновероятно могут быть и хорошие и плохие условия увлажнения, весной же влагозапасы варьируют от отличных до удовлетворительных. Нижний предел доверительного интервала (разность между средним значением и стандартным отклонением) весной составляет 115 мм, а верхний 170 мм, т. е. прогноз хороших влагозапасов, равных средним значениям, будет иметь высокую оправдываемость в любом случае.

Таблица 2. Средние значения, стандартное отклонение и частота по градациям запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы по станции Белогорка (Ленинградская область)

	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сент.	октяб.	нояб.
среднее	143	130	105	75	48	50	75	85	92
ст.откл	26,8	19,8	28,6	33,6	23,6	30,2	34,0	34,2	30,6
Частота влагозапасов по градациям									
отличные	26%	11%	4%	1%	0%	0%	0%	1%	2%
хорошие	54%	55%	33%	14%	1%	5%	14%	19%	24%
удовлетворит.	13%	23%	24%	12%	5%	6%	13%	23%	16%
недостаточные	1%	7%	16%	17%	11%	11%	19%	17%	20%
плохие	6%	4%	24%	56%	83%	78%	53%	41%	37%

Таким образом, сколь бы ни было различным увлажнение почвы модель «прогноз = среднее» дает высокую оправдываемость, при этом высока доля неопределённости.

Исходя из этого вывода, необходимо построить схему прогноза, которая по возможности была бы лишена недостатка, связанного с методом определения качества прогноза. На наш взгляд представляется оптимальным прогнозировать не величину запасов продуктивной влаги в мм водного слоя, а саму градацию. Соответственно, прогноз оправдался если градация была спрогнозирована верно, в ином случае он не оправдался.

Нами была разработана такая схема. Суть её сводится к определению критических значений осадков, приводящих к изменению градации запасов продуктивной влаги на 1. На первом этапе определяется градация запасов осенью. Если величина запасов продуктивной влаги под озимыми культурами близка к пороговому значению (около 80, 100, 120 и 160 мм), то необходимо учесть значения влагозапасов под зябью или многолетними травами. Далее для каждой градации определены критические значения количества зимних осадков. В конце зимы, на дату выпуска прогноза, метеоролог рассчитывает фактическое количество осадков за период от последнего определения влагозапасов осенью и сопоставляет его с критическими значениями, соответственно увеличивая/уменьшая или оставляя без изменения значение градации влагозапасов. Оправдываемость разработанного метода составляет 70%. Лучшая оправдываемость получается для градаций хорошие и удовлетворительные влагозапасы (67–87%), хуже при плохих (55%). Градация отличные влагозапасы не включалась в оценку, т.к. в оправдываемость в этом случае 100%.

На рис. 1 приведен прогноз запасов продуктивной влаги на весну 2020 г., составленный по методу Л. А. Разумовой, по новому методу и фактические запасы на первое определение.

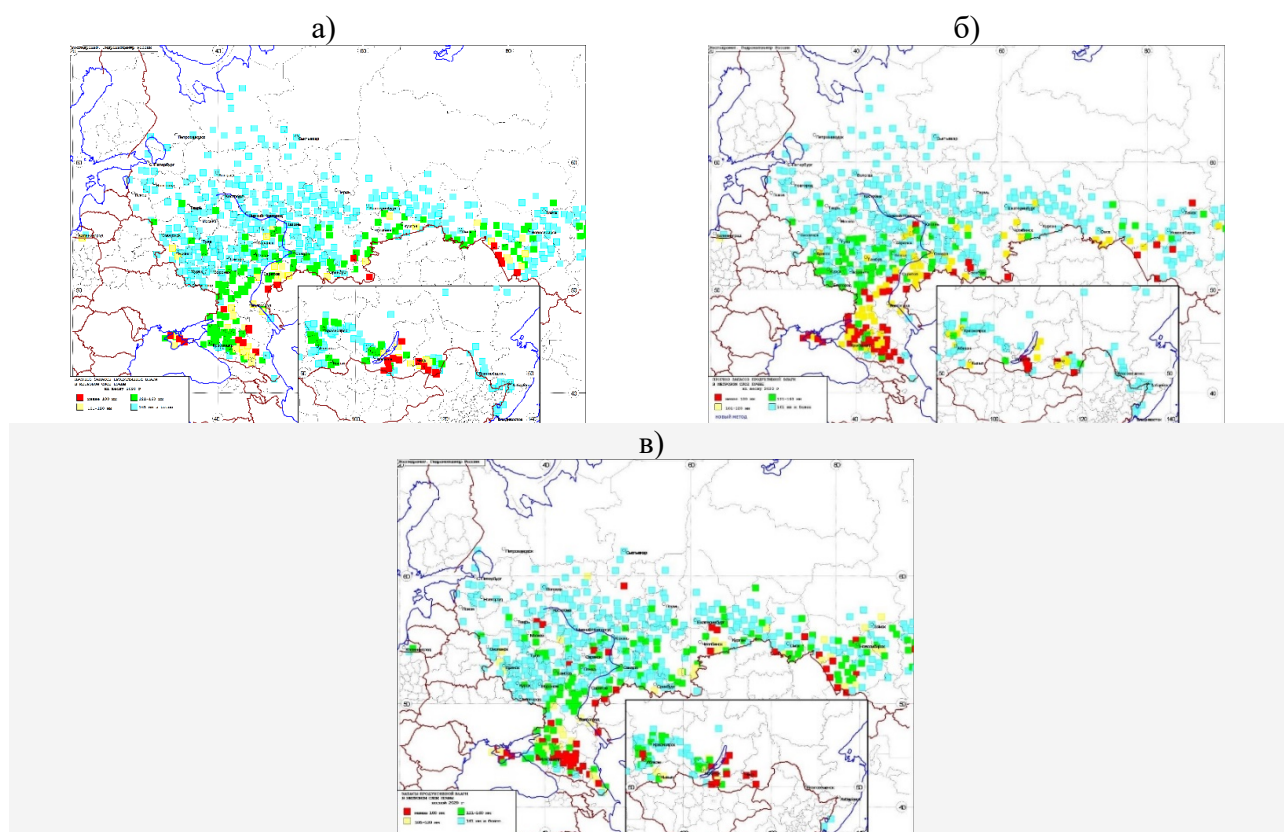


Рис. 1 Прогноз запасов продуктивной влаги на весну 2020 г., составленный по методу Л.А. Разумовой (а), по новому методу (б) и фактические запасы на первое определение (в).

Таким образом, уже на текущем этапе метод дает хорошие результаты, но в дальнейшем мы надеемся на их улучшение.

Список литературы

1. РД 52.27.284-91 Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиографических прогнозов. СПб.: Гидрометеоиздат, 1991, 150 с.
2. Разумова Л. А. Методика составления прогноза запасов продуктивной влаги в почве к началу вегетационного периода // Сборник методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. Л.: Гидрометеоиздат, 1957. С. 19–27.
3. Тарасова Л. Л. Пространственно-временная структура поля запасов продуктивной влаги в почвах чернозёмной зоны европейской части России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2008. № 2. С. 57–61.

ПРОДУКТИВНОСТЬ НОВЫХ СОРТОВ СОИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ

Т. Н. Федорова, С. А. Шукюров

*Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного
отделения РАН*

При норме высева 400 тыс. шт. на 1 га урожайность сои по сортам варьировалась от 2,30...3,05 т/га у сорта Батя и от 2,76...3,93 т/га у Хабаровского юбиляра. Наибольшая урожайность семян сои у сорта Батя получена при посеве 5 июня – 3,05 т/га и при посеве 15 мая – 3,93 т/га у сорта Хабаровский юбиляр. Среднее содержание белка в зерне 39,19% у сорта сои Батя и 37,91% у Хабаровского юбиляра.

Ключевые слова: соя, сорт, срок посева, урожайность, структура урожая, период вегетации, фазы роста и развития, Среднее Приамурье.

PRODUCTIVITY OF NEW VARIETIES OF SOYBEAN IN ECOLOGICAL CONDITIONS OF THE MIDDLE AMUR REGION

T. N. Fedorova, S. A. Shukyurov

*Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk Federal Research Center,
Far Eastern branch, RAS*

Soy occupies the main areas in the agrocenoses of the Middle Amur region. The large share and rapid growth in soybean production is mainly due to the unique biochemical composition of its grain. Realizing the maximum productivity potential of soybean varieties requires a combination of several factors, such as the genetic qualities of the variety and the growing conditions of the crop. The passage of physiological processes in soybean plants is ensured by the presence of certain climatic parameters, primarily heat, moisture and light. The optimum temperature for seed germination and emergence is 12–14°C, for growth and development 21–23°C, ripening 19–20°C. For a full cycle of growth and development of soybean plants, the sum of active temperatures from 1700 to 3500°C is sufficient, depending on the ecotype and early maturity of the variety. Soybean plants are very demanding on the presence of moisture in the soil. The initial period of growth accounts for 30% of the total water consumption and 70% for flowering-ripening. The most critical for the requirement for moisture supply is the period of seed formation. In addition to hydrothermal resources, lighting conditions play an important role in ensuring the biological characteristics of soybeans.

One of the main methods of varietal agricultural technology, which does not require additional costs and significantly affects the change in the sowing, yield and biochemical qualities of seeds, is the choice of the optimal sowing time for soybeans. In connection with the earlier onset of positive temperatures and a longer warm period in the southern regions of the Khabarovsk Territory, the issue of shifting the timing of sowing soybeans to earlier ones became relevant.

В условиях мирового земледелия соя занимает первое место по площади посева зернобобовых культур. США и Бразилия лидируют в производстве сои, но несмотря на лидерство этих стран, основные объемы потребления сои приходятся на азиатские страны. В современных условиях стало возможно получение сортов сои с генетическим потенциалом 3–4 т/га. Для реализации максимального потенциала продуктивности сортов сои необходимо сочетание нескольких факторов, таких как генетические качества сорта и условия возделывания сельскохозяйственной культуры, в том числе сроки и способ посева [1, 2, 3].

Вопросы оптимизации сроков посева сои изучались во многих странах, таких как: США, Бразилия, Аргентина и Китай. Исследования в Китае показали, что изменение климата в сторону потепления значительно влияет на фенологию сельскохозяйственных культур. Поэтому оптимизация даты посева сои была выбрана в качестве потенциальной стратегии для смягчения последствий изменения климата [4].

По данным ученых П. П. Вавилова, А. А. Бабича и др. авторов более ранние и поздние сроки посева приводят к снижению урожайности [5, 6]. По другим данным ученых И. А. Минкевич, Г. Ф. Смолякова и др., наиболее высокая урожайность формируется растениями при ранних сроках посева [7, 8]. Ранний посев сои может стимулировать рост вегетативной массы растений; в то время как поздний срок может сократить продолжительность как отдельных фаз роста и развития, так и в целом периода вегетации, что, в свою очередь, уменьшает накопление сухого вещества и приводит к плохому разделению на репродуктивные части и, в конечном счете, плохой реализации потенциальной урожайности. Также влияние на показатели продуктивности сельскохозяйственных культур, по разным данным, оказывают как индивидуальные гидротермические характеристики в разные фазы развития

(сумма осадков, температура воздуха и почвы при посеве), так и комплексные, такие как ГТК.

Материалы и методика исследований

Полевые опыты по сравнительной оценке сортов сои проводились в 2019 году на полях ФГБНУ ДВНИИСХ. Изучались сорта сои селекции ФГБНУ ДВНИИСХ – Батя и Хабаровский юбиляр. Исследования проведены в полевом мелкоделяночном опыте на лугово-бурой тяжелосуглинистой почве в полевом севообороте в 2018–2019 гг. Содержание гумуса 4,1%, реакция среды кислая (рН сол. менее 4,5), гидролитическая кислотность – 10...12 мг-экв./100 г почвы, сумма обменных оснований – 15...17 мг-экв./100 г почвы, обеспеченность подвижным фосфором – низкая, а обменным калием – высокая и очень высокая. Повторность закладки опыта – четырехкратная, площадь деланки – 4 м², норма высева 40 шт./м². Семена высеивались в шесть сроков: 1 срок – 9 мая; 2 срок – 15 мая; 3 срок – 27 мая; 4 срок – 5 июня; 5 срок – 10 июня; 6 срок – 17 июня. Объект исследований – сорта сои селекции ДВНИИСХ Батя и Хабаровский юбиляр. В ходе исследования изучались две группы показателей: Показатели продуктивности сои и агроклиматические показатели.

Статистический анализ результатов проводили по методике дисперсионного и корреляционного анализов с использованием стандартных компьютерных программ (Statistica 12.0; Microsoft Office, Excel 365).

Результаты исследований

Летом 2019 года на юге Хабаровского края сложились экстремальные условия для сельскохозяйственных культур. Развитие сои сопровождалось сильными ливневыми дождями, в результате чего произошло переувлажнение почвы в сравнении со средними показателями предшествующих лет. Сумма осадков в 2019 году за период вегетации составила 804,4 мм при норме 507 мм. ГТК за период вегетации сои составил 3,12.

В 2019 году отмечается активизация роста сои в более поздние сроки посева, которые отмечались более благоприятными условиями для развития. На продолжительность периода посев-всходы оказывает существенное влияние температура и влажность почвы в момент посева. В данном опыте минимальная температура на глубине заделки семян приходилась на первые три срока посева и составляла 11–17°C, что привело к появлению всходов на 10–12 день. Смещение сроков посева на июнь сокращало продолжительность периода посев-всходы на 6–9 дней, что объясняется прогреванием почвы до 20–8 0C и достаточным обеспечением ее влагой. Сортовых различий по продолжительности данной фазы выявлено не было. Полевая всхожесть семян сои в среднем за 2019 год составила – Батя 84%, Хабаровский юбиляр 90%.

Сорт сои Батя опережал в развитие на 3–6 дней сорт сои Хабаровский юбиляр, вследствие чего сумма температур в период «всходы – цветения» у Бати была меньше и составила 592–731°C, а у Хабаровского юбиляра 667–777°C. Количество осадков в указанный период было в пределах 64–132 мм. В сложившихся гидротермических условиях за год исследований продолжительность периода «всходы-цветения» варьировалось в пределах 27–44 дней у сорта Батя и 30–46 дней у сорта Хабаровский юбиляр.

Период вегетации сои проходил в условиях сильного увлажнения (ГТК-3,10–3,20) при сумме температур 2128,8–2694,2°C и сумме осадков 646,2–876,0 мм по сортам сои Батя и Хабаровский юбиляр. При сдвигании сроков посева происходило уменьшение межфазных периодов, в результате чего период вегетации сокращался. Так, при первом сроке посева период вегетации по сортам сои был 143 дня, а при самом позднем посеве 124 дней. Значительное сокращение вегетационного периода в конечном итоге отрицательно сказалось на урожайности сельскохозяйственной культуры. Сорт сои Батя и Хабаровский юбиляр показал наименьшую урожайность именно в последнем сроке посева.

В таблице 1 представлена статистическая обработка основных показателей, характеризующих продуктивность двух изучаемых сортов сои в зависимости от срока посева. Важным показателем продуктивности сои является количество бобов и зерен на растении. Эти показатели являются наиболее переменными элементами урожайности культуры и находятся с ней в тесной корреляции, ($r = 0,61$) по количеству бобов и ($r = 0,93$) по количеству зерен. Наибольшее количество зерен на растении у сорта Батя отмечалось в четвертом сроке посева, а у Учителя во втором. Этот показатель незначительно варьировался у сорта сои Батя ($V = 3,4\%$), изменчивость сорта Учитель составила $13,7\%$). Таким образом, средняя урожайность сорта Батя составила 45% от его потенциала ($6,0$ т/га), а у сорта Хабаровский юбилей 87% при потенциале 4 т/га.

Таблица 1. Статистическая обработка основных показателей для сортов сои Батя и Учитель при разных сроках посева

Срок посева	Кол-во бобов, т.	Количество зерен, шт.	Масса 1000 семян, гр	Урожайность, т/га	Белок, %
Батя					
1	18	30.5	218	2.76	40.7
2	17	31.0	214	2.83	37.4
3	16	31.2	224	2.95	39.3
4	17	33.3	220	3.05	39.9
5	16	31.0	216	2.54	39.6
6	14	30.5	210	2.30	38.2
V, %	8.4	3.4	2.2	10.0	3.0
$\Delta\bar{x}$	1.4	1.1	5	0.3	1.2
Хабаровский юбилей					
1	29	49.2	186	3.73	35.9
2	27	52.7	184	3.93	37.4
3	24	48.4	184	3.61	36.6
4	23	45.3	190	3.46	38.8
5	21	45.0	186	3.38	37.7
6	19	34.3	194	2.76	41.1
V, %	15.6	13.7	2.1	11.5	4.9
$\Delta\bar{x}$	3.9	6.6	4	0.4	2.0

Проведенный корреляционный анализ выявил зависимость величины урожая от продолжительности периода вегетации и гидротермических условий (табл. 2). Степень их влияния у сортов Батя и Хабаровский юбиляр различна.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между показателя качества сои и гидротермическими характеристиками в период вегетации сои

Показатели	Продолжительность вегетационного периода, дни	Сумма температур, °С	Сумма осадков, мм	ГТК
Батя				
Количество бобов, шт	0.79	0.79	0.50	0.00
Количество зерен, шт	0.07	0.07	0.33	-0.41
Масса 1000 семян, гр	0.33	0.33	0.33	-0.83
Урожайность, т/га	0.20	0.20	0.47	-0.41
Белок, %	0.20	0.20	-0.07	-0.41
Хабаровский юбиляр				
Количество бобов, шт.	1.00	1.00	0.73	-0.14
Количество зерен, шт.	0.87	0.87	0.87	0.00
Масса 1000 семян, г	-0.50	-0.50	-0.79	0.07
Урожайность, т/га	0.87	0.87	0.87	0.00
Белок, %	-0.73	-0.73	-0.47	0.14

Корреляционный анализ показал, что между потребностью сорта и выраженностью факторов внешней среды оптимальное соотношение складывалось для сорта Хабаровский юбиляр, о чем свидетельствует коэффициент корреляции 0,87. Отмечается его более высокая устойчивость при ухудшении агрометеорологических факторов. Сорт Батя в лимитированных гидротермических условиях не способен реализовать высокий продуктивный потенциал. Существенный рост урожайности отмечается при оптимизации факторов внешней среды. Его урожай в большей степени коррелирует с количеством бобов, зерен и массой 1000 семян.

Выводы

Изучено влияние срока посева на характеристики продуктивности двух сортов сои: Батя и Хабаровский Юбиляр. Исследуемые сорта по-разному реагировали на гидротермические условия периода вегетации. По результатам

исследования можно предположить, что для получения максимального потенциала продуктивности сортов сои необходимо подобрать оптимальные сроки посева. Выявлены различия сортов Батя и Хабаровский юбиляр по показателям продуктивности в неблагоприятных гидротермических условиях: урожайность сорта Хабаровский юбиляр в среднем на 0,8 т/га выше, чем у сорта Батя. Установлена взаимосвязь между продуктивностью и продолжительностью вегетационного периода, а также гидротермическими характеристиками. Построены регрессионные уравнения, где в качестве независимых переменных вошли продолжительность, сумма осадков и ГТК вегетационного периода. Гидротермические условия значительно лимитировали реализацию потенциала продуктивности сортов, урожайность сорта Батя составила 45% от его потенциала, а у сорта Хабаровский юбиляр 87%.

Список литературы

1. Баранов В. Ф., Лукомец В. М. Соя – биология и технология возделывания. Краснодар: ВНИИМК, 2005. 435 с.
2. Головина Е. В., Зотикова В. И. Влияние погодных условий на продукционный процесс у сортов сои северного экотипа // Сельскохозяйственная биология. 2013. № 6. С. 112–118.
3. Sharma M., Gupta S. K., Maurya V. K. Proteomics unravel the regulating role of salicylic acid in soybean under yield limiting drought // Plant physiology and biochemistry. 2018. pp. 529–541.
4. Liang He, Ning Jin, Qiang Yu. Impacts of climate change and crop management practices on soybean phenology changes in China // Science of the Total Environment. 220. pp. 1–11.
5. Бабич А. А. Соя на корм. М.: Колос, 1974. 112 с
6. Вавилов П. П., Посыпанов Г. С. Бобовые культуры и проблемы растительного белка. М.: Россельхозиздат, 1983. 255 с.
7. Минкевич И. А. Боровский В. Е. Масличные культуры. М.: Колос, 1949. С. 144–162.
8. Смоляков Г. Ф. Возделывание сои на гребнях на лугово-черноземовидных почвах Амурской области. – Автореф. дис. на соис. уч. степ. к. с. – х. н, Благовещенск, 1973. 24 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОДВИЖЕНИЯ НА СЕВЕР ЗОНЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ВИНОГРАДА НА ЕТР

П. Н. Чистяков, Л. Ю. Новикова

*Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт
генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР),
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44;
E-mail: l.novikova@vir.nw.ru*

В программе QGIS определен диапазон агроклиматических факторов в зоне фактического возделывания винограда на ЕТР, определена зона возможного возделывания с таким же диапазоном. Рассмотрены возможности расширения зоны за счет двух агротехнических приемов – поливной и укрывной культур. Показано, что ареал может быть продвинут к северу до 51,6°N.

Ключевые слова: виноградарство, ГИС-технологии, экологическая ниша

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF MOVING NORTHWARD OF THE ZONE OF GRAPE CULTIVATION IN THE ETR

P. N. Chistyakov, L. Yu. Novikova

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR),
42, 44 Bolshaya Morskaya street, St. Petersburg 190000, Russia;
E-mail: l.novikova@vir.nw.ru*

GIS technologies are of particular importance for assessing the adaptation potential of viticulture to climate change. Modeling of the climate niche of a culture involves determining the range of agro-climatic parameters under which the development of a culture is possible, by analyzing data from several points where it cultivated and constructing a geographical area with a given set of conditions. **The purpose** of the study is to determine the zone of possible cultivation of grapes in modern climatic conditions of the ETR. **Material and method.** Agroclimatic factors limiting the cultivation of grapes were identified by F. F. Davitaya in 1948: the sum of temperatures above 10°C ($\sum T_{10}$), the average maximum temperature (T_{max}), the average temperature of the warmest month (T_{Jul}), the duration of the frost-free period (L_{ff}), HTC, the average absolute minimum temperature (T_{min}). To determine the range of agro-climatic characteristics of the grape niche in the ETR at the end of XX century, a map of *Vitis* from AgroAtlas was used (Afonin et al., 2008). The potential area of *Vitis* was determined in the QGIS program with using the maps of agroclimatic characteristics from AgroAtlas and from Worldclim. **Results.** The actual cultivation zone is located in the range of 41.6-46.6°N, 32.5-48.5°E, has a range of indicators: $\sum T_{10} > 2572^\circ\text{C}$; $T_{Jul} > 18.5^\circ\text{C}$; $T_{max} < 39^\circ\text{C}$, $L_{ff} > 150$ days; $0.5 < \text{HTC} < 2.4$; $T_{min} > -26^\circ\text{C}$. In the climatic conditions of the end of the XX century the potential zone is larger than the actual one and reaches the latitude of 48.0°N, the limiting factor in the North is $T_{min} < -26^\circ\text{C}$, in the East the $\text{HTC} < 0.5$. The extension of the cultivation zone in the Eastern direction is possible by irrigation, while the zone reaches the longitude of 48.7°E and moves to the Northern coast of the Caspian sea. The use of cover culture allows to move the grapes northward. According to F. F. Davitaya, industrial cultivation is possible at $T_{min} > -35^\circ\text{C}$, which allows move viticulture until the latitude of 51.6°N.

Введение

Для оценки потенциала адаптации виноградарства в условиях изменений климата и цифровизации сельского хозяйства особое значение приобретает внедрение геоинформационных систем (Ахматова, Карданов, 2020; Hannah et al., 2013). ГИС-технологии используются при агроэкологической оценке земельных ресурсов, определении пригодности конкретной территории для размещения культуры, расчете экологических рисков возделывания культур (Керимханова, 2009). Моделирование климатической ниши включает определение диапазона агроклиматических параметров, при которых возможно развитие культуры, за счет анализа данных из нескольких конкретных точек, где встречается вид (Soberon, Nakamura, 2009; Peterson et al., 2015). Совокупность этих данных используются для построения модели климатических условий, характеризующих географический ареал вида. Одним из применений моделирования климатических ниш является определение географических районов, в которых климат в настоящее время или в перспективе климатических изменений пригоден для винограда. ГИС-технологии широко используются при анализе влияния изменений климата на географию виноградарства (Tóth, Végvári, 2015; Nesbitt et al., 2018).

Подробная климатическая характеристика культуры винограда, актуальная до сих пор (Мищенко, 2009), была дана Ф. Ф. Давитая (Давитая, 1948). Были указаны требования культуры: температура начала и конца вегетации: 10°C ; тормозящая высокая температура (T_{max}) $35\text{--}40^{\circ}\text{C}$; сумма температур за вегетацию выше 10°C ($\sum T_{10}$) выше 2500°C ; необходимый минимум средней температуры самого теплого месяца (T_{Jul}) $16\text{--}18^{\circ}\text{C}$; продолжительность безморозного периода (L_{ff}) не менее 150 дней; минимальный ГТК 0,5; максимальный 1,5–2,5; температура начала повреждения и полной гибели: средний из абсолютных минимумов температуры (T_{min}) ниже -15°C – граница неукрывного виноградарства; -35°C при обычных способах защиты от холода (Давитая, 1948, С. 172–174).

Целью исследования является определение климатообусловленной зоны возможного возделывания винограда в современных климатических условиях ЕТР с использованием ГИС-метода определения экологической ниши винограда.

Материал и метод

Для определения агроклиматических характеристик ниши винограда на ЕТР в текущих климатических условиях использована карта ареала *Vitis* из АгроАтласа (Афонин и др., 2008). В программе QGIS (QGIS) для ареала винограда получен диапазон значений тех факторов, которые выделил Ф.Ф.Давитая. Построен возможный ареал *Vitis* в современных условиях. Карты агроклиматических характеристик взяты с ресурсов АгроАтлас (Afonin et al., 2008) и Worldclim (Worldclim, <http://www.worldclim.org>).

Результаты

В растровом формате с точностью 0.1 град/пиксель ареал винограда представлен 766 точками. Диапазон выделенных агроклиматических факторов для этих точек приведен в таблице. Сравнение с характеристиками зоны возделывания винограда, сформулированными Ф.Ф.Давитая в 1948 г для мирового виноградарства (таблица), показывает их соответствие.

Таблица. **Диапазон агроклиматических факторов зоны промышленного возделывания винограда на ЕТР**

Показатель	Min	Max	Граница по Ф. Ф. Давитая (1948)
Широта	41,6	46,6	
Долгота	32,5	48,5	
$\Sigma T_{10}, ^\circ\text{C}$	2572,2	3995,3	> 2500
$T_{Jul}, ^\circ\text{C}$	18,5	25,8	> 16–18 посредственные урожаи; > 17–19.4 хорошие
$T_{max}, ^\circ\text{C}$	30,0	39,0	<35–40
ГТК	0,5	2,4	> 0,5; < 1,5–2,5
$L_{ff}, \text{сут.}$	149,0	216,0	> 150
$T_{min}, ^\circ\text{C}$	-26,0	-8,0	< -15 неукрывные; < -35 укрывные

Для определения потенциальной зоны виноградарства в текущих климатических условиях ЕТР был принят следующий диапазон показателей: $\sum T_{10} > 2572^\circ\text{C}$; $T_{Jul} > 18,5^\circ\text{C}$; $T_{max} < 39^\circ\text{C}$, $L_{ff} > 150$ сут.; $0,5 < \text{ГТК} < 2,4$; $T_{min} > -26^\circ\text{C}$. Результат представлен на рис. 1. Зона с таким набором климатических показателей расширена к северу по сравнению с фактической и достигает широты $48,0^\circ\text{N}$. На севере лимитирующим фактором является требование $T_{min} > -26^\circ\text{C}$, на востоке $\text{ГТК} > 0,5$.

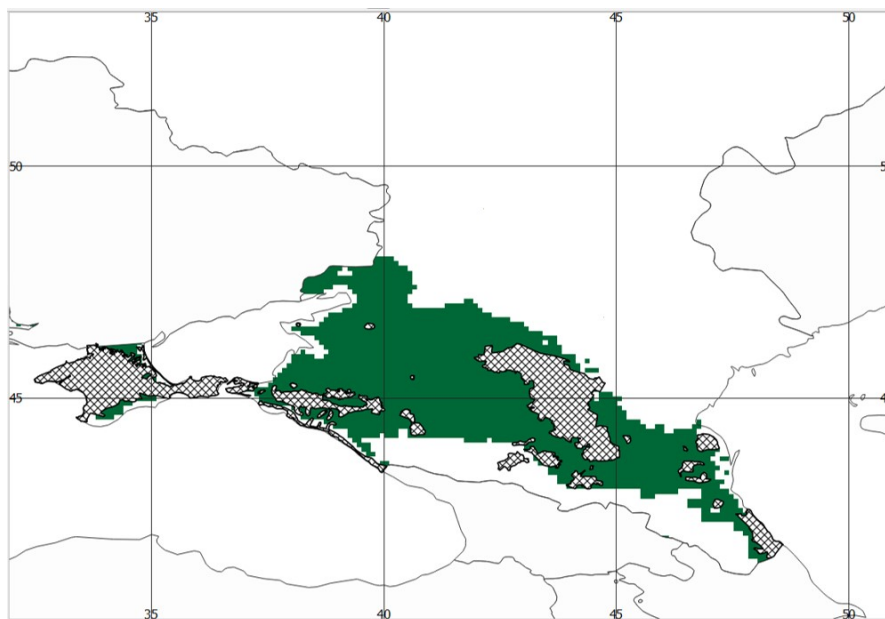


Рис. 1. Карта потенциальной зоны возделывания винограда на ЕТР, лимитирующие факторы потенциальной зоны равны условиям реальной.

Обозначения зон:  – реальная;  – потенциальная

Расширение зоны возделывания в восточном направлении возможно за счет полива виноградников. Для определения ареала поливной культуры было снято ограничение на минимальный ГТК. Зона возможного возделывания поливной культуры построена для набора показателей: $\sum T_{10} > 2572^\circ\text{C}$; $T_{Jul} > 18,5^\circ\text{C}$; $T_{max} < 39^\circ\text{C}$, $L_{ff} > 150$ сут.; $\text{ГТК} < 2,4$; $T_{min} > -26^\circ\text{C}$, и представлена на рис. 2. При этом произошло расширение зоны до долготы $48,7^\circ\text{E}$ и продвижение на северное побережье Каспийского моря.

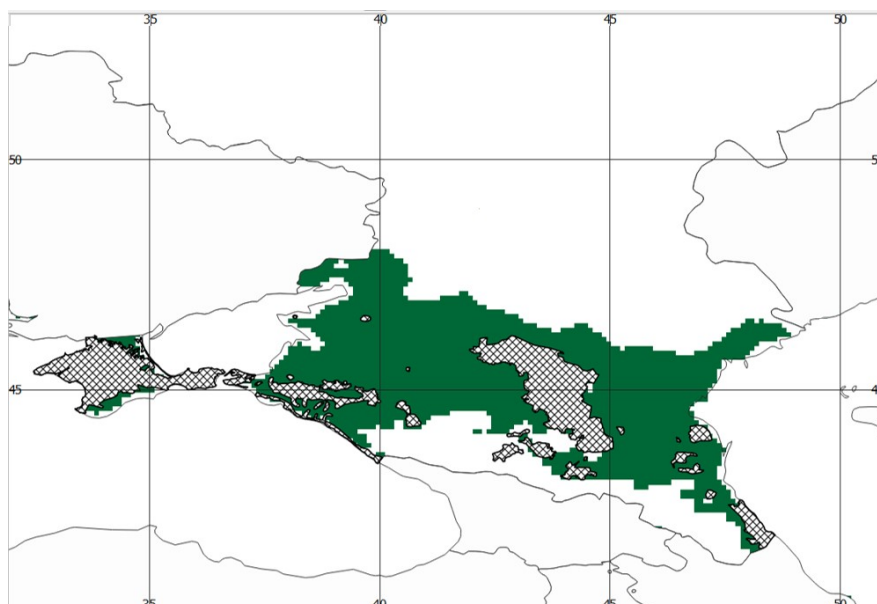




Рис. 2. Карта потенциальной зоны возделывания винограда на ЕТР, включая поливную культуру.

Обозначения зон:  – реальная;  – потенциальная.

Следующим резервом расширения зоны возделывания является использование укрывной культуры. По Ф.Ф Давитая промышленное возделывание возможно при средней минимальной годовой температуре до -35°C . Успехи современной селекции в северной зоне промышленного возделывания винограда, основанные на создании межвидовых гибридов с *V.amurensis* Rupr., *V.labrusca* L. (Новикова, Наумова, 2019), обладают существенно большей морозостойкостью, чем европейский виноград *V.vinifera* L. Зона возможного возделывания винограда с применением таких агроприемов, как полив и укрытие на зиму, построена для набора показателей: $\sum T_{10} > 2572^{\circ}\text{C}$; $T_{Jul} > 18,5^{\circ}\text{C}$; $T_{max} < 39^{\circ}\text{C}$, $L_{ff} > 150$ сут.; $\text{ГТК} < 2,4$; $T_{min} > -35^{\circ}\text{C}$; рис. 3. При этом ареал достигает широты $51,6^{\circ}\text{N}$. Основным ограничением продвижения на север становится $\sum T_{10} > 2572^{\circ}\text{C}$ и $L_{ff} > 150$ сут.

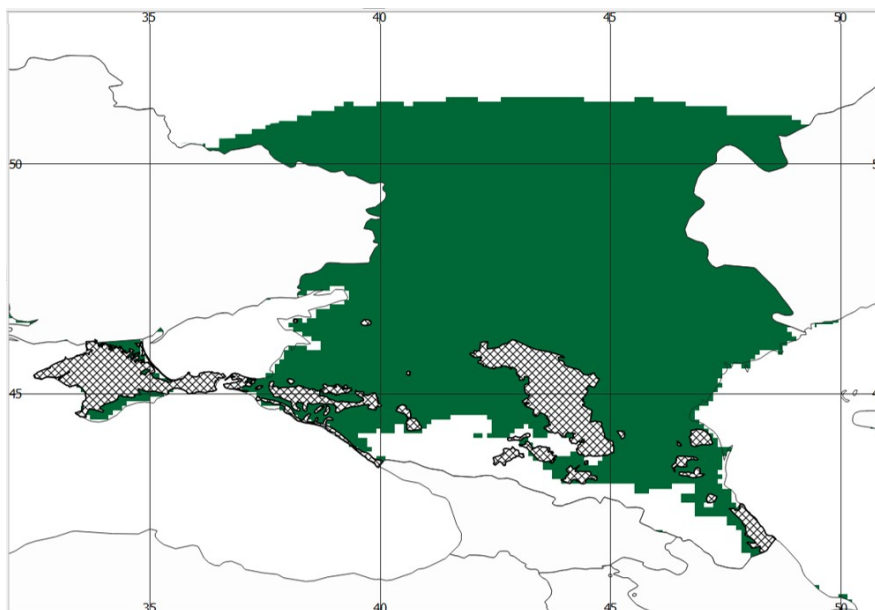


Рис. 3. Карта потенциальной зоны возделывания винограда на ЕТР, включая поливную и укрывную культуры.

Обозначения зон:  – реальная;  – потенциальная.

Выводы

Получен диапазон агроклиматических параметров зоны промышленного возделывания винограда на ЕТР: $\sum T_{10} > 2572^\circ\text{C}$; $T_{Jul} > 18,5^\circ\text{C}$; $T_{max} < 39^\circ\text{C}$, $L_{ff} > 150$ сут.; $0,5 < \text{ГТК} < 2,4$; $T_{min} > -26^\circ\text{C}$. Моделирование потенциальной зоны возделывания в современных климатических условиях показывает возможность ее расширения на ЕТР до $48,0^\circ\text{N}$, при использовании полива – до $48,7^\circ\text{E}$, а при использовании укрывной культуры – до $51,6^\circ\text{N}$.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-016-00213.

Список литературы

1. Ахматова З. П., Карданов А. Р. Использование современных методов оценки климатических условий для оптимизации размещения плодовых культур // Плодоводство и виноградарство Юга России № 61(1). 2020. <http://journalkubansad>. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-1-61-84-97.
2. Hannah L., Roehrdanz P. R., Ikegami M., Shepard A. V., Shaw M. R., Tabor G., Zhi L., Marquet P. A., Hijmans R. J. Climate change, wine, and conservation//PNAS. 2013. Vol. 110. 17. pp. 6907–6912.

3. Керимханова Р. Н. Использование геоинформационных технологий для оценки садопригодности горной зоны Дагестана. Автореф. ... канд. с.-х. н. Специальность: 06.01.07— плодородство, виноградарство Мичуринск-наукоград РФ, 2009. 23 с. <http://earthpapers.net/ispolzovanie-geoinformatsionnyh-tehnologiy-dlya-otsenki-sadoprigodnosti-gornoj-zony-dagestana>.
4. Soberon J., Nakamura M. Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. PNAS, 2009, vol. 106, 19644–19650 doi:10.1073_pnas.0901637106.
5. Peterson A. T., Papeş M., Soberón J. Mechanistic and Correlative Models of Ecological Niches // EJE 2015, 1(2): 28-38, doi: 10.1515/eje-2015-0014.
6. Tóth J. P., Végvári Z. Future of wine grape growing regions in Europe // Australian Journal of Grape and Wine Research 2015 DOI: 10.1111/ajgw.12168.
7. Nesbitt A., Dorling S., Lovett A. A suitability model for viticulture in England and Wales: opportunities for investment, sector growth and increased climate resilience // Journal of Land Use Science, 2018. 13(4):414-438 <https://doi.org/10.1080/1747423X.2018.1537312>.
8. Мищенко З. А. Агроклиматология. Киев: КНТ, 2009. 512 с.
9. Давитая Ф.Ф. Климатические зоны винограда в СССР. М: Пищепромиздат, 1948. 192 с.
10. Afonin A. N., S. L. Greene, N. I. Dzyubenko, A. N. Frolov (eds.). 2008. Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds [Online]. Available at: <http://www.agroatlas.ru>.
11. QGIS. Свободная географическая информационная система с открытым кодом <https://qgis.org/ru/site>.
12. WorldClim - Global Climate Data. <http://www.worldclim.org>.
13. Новикова Л. Ю., Наумова Л. Г. Структурирование ампелографической коллекции по фенотипическим характеристикам и сравнение реакции сортов винограда на изменение климата // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(6):772-779 DOI: 10.18699/VJ19.551

ЛУНАЗИН: УНИКАЛЬНЫЙ БИОАКТИВНЫЙ ПОЛИПЕПТИД В СЕМЕНАХ СОИ

А. Д. Шутов, А. С. Рудакова, И. А. Каховская

Государственный университет Молдовы, Кишинев, Молдова

Луназин, N-концевой полипептид зрелого 2S альбумина семян сои, обладает противораковыми и противовоспалительными свойствами. Анализ эволюционно и структурно родственных белков из семян других растений обнаруживает отсутствие в их N-концевых последовательностях мотивов, определяющих терапевтические свойства луназина сои. Таким образом, аминокислотная последовательность луназина сои уникальна.

LUNASIN: A UNIQUE BIOACTIVE POLYPEPTIDE IN SOYBEAN SEEDS

A. D. Shutov, A. S. Rudakova, I. A. Kakhovskaya

State University of Moldova, Chişinău, Moldova

Lunasin, a 43 amino acid N-terminal region of 2S albumin from soybean seeds (SKWQHQQDSCRKQLQGVNL-TPCEKHIMEKIQG-RGD-DDDDDDDD) is known to possess antitumor and anti-inflammatory properties. At the C-terminal region of the lunasin polypeptide, there are eight Asp residues that carry a negative charge and, therefore, have the ability to bind positively charged histones. Thus, the C-terminal region of soybean lunasin plays the role of an acetylation inhibitor of histones H3 and H4 present in chromatin. The poly-Asp chain is preceded by the cell adhesion motif Arg-Gly-Asp, responsible for the attachment of lunasin to the extracellular matrix. It is suggested that this motif facilitates the penetration of lunasin into mammalian cells within a few minutes, followed by localization in the cell nucleus. This determines the therapeutic activity of soybean lunasin. In this work, an attempt is made to establish whether structurally related proteins from seeds of other plants, like soybean lunasin, can have therapeutic activity. The N-terminal amino acid sequences of storage 2S albumins from dicotyledonous plants homologous to soybean lunasin are relatively variable. They lack the cell adhesion motif Arg-Gly-Asp and the poly-Asp chain, which are essential for lunasin activity. These observations cast doubt on the presence of active lunasin among 2S albumins of dicotyledonous plants, the N-terminal sequences of which are homologous to lunasin. An immunological study using polyclonal antibodies specific for the soybean lunasin sequence leads to the same conclusion. These results indicate the presence of biologically active lunasin in a single sequence (aab71140) of the multiple 2S albumins from seeds of dicotyledonous plants. This information suggests the unique specificity of the N-terminal amino acid sequence of soybean 2S albumin aab71140, which imparts therapeutic properties to the lunasin polypeptide. Obviously, such specificity, in no way connected with the reserve function of 2S albumin in the seeds of dicotyledonous plants, can be the result of only random evolutionary events. Indeed, the analysis of proteins encoded by the genomes of both dicotyledonous and monocotyledonous plants carried out in a series of works confirms the conclusion about the unique specificity of the amino acid sequence characteristic exclusively for soybean lunasin.

В семенах сои *Glycine max* идентифицирован биологически активный полипептид луназин (Odani et al., 1987; Lule et al., 2015), обладающий рядом терапевтических свойств, в том числе противоопухолевой и противовоспалительной активностями (Chatterjee et al., 2018). Аминокислотная последовательность луназина сои соответствует N-концевой области (малой субъединице) зрелого 2S альбумина.

2S альбумины принадлежат семейству запасных белков, присутствующих в семенах исключительно двудольных растений (Mitchell et al., 2013). Для семян злаков характерно семейство ингибиторов α -амилаз (Franco et al., 2012), структурно родственное 2S альбуминам двудольных (рис. 1).

Биологическая активность луназина сои (SKWQHQQDSCRKQLQGVNL-TPCEKNIMEKIQG-RGD-DDDDDDDD, рис. 1) подробно описана (Galvez et al., 2001; Liu et al., 2014; Wan et al., 2017). На C-концевом участке полипептида луназина присутствуют 8 остатков Asp, несущих отрицательный заряд и, следовательно, обладающих способностью связывать положительно заряженные гистоны. Поэтому C-концевой участок луназина сои играет роль ингибитора ацетилирования гистонов H3 и H4, присутствующих в хроматине. Поли-Asp цепи предшествует мотив клеточной адгезии Arg-Gly-Asp, ответственный за присоединение луназина к внеклеточному матриксу. Наконец, предполагаемая спиральная область (h1, рис. 1), обнаруживаемая в хроматин-связывающих белках, вероятно, связывается с гистонами хроматина. Функциональная роль бесструктурного N-концевого участка луназина остается неизвестной.

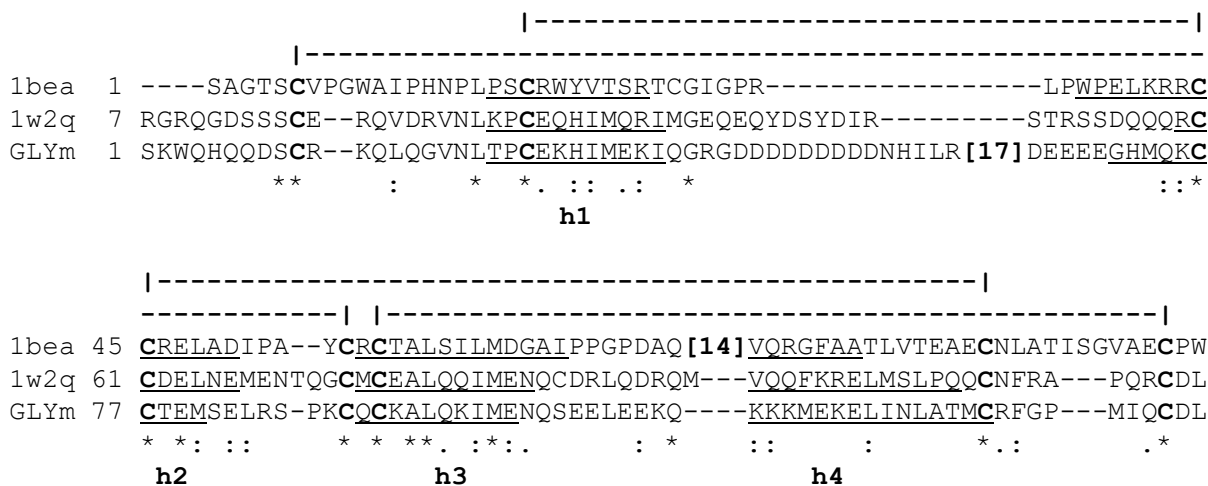


Рис. 1. Структурно родственные аминокислотные последовательности представителей двух семейств белков семян: злаков (pdb|1bea, ингибитор α -амилазы кукурузы) и бобовых - 2S альбумины арахиса pdb|1w2q и сои (GLYm, aab71140). В квадратных скобках показано число пропущенных аминокислотных остатков в последовательностях белков кукурузы и сои. Жирным шрифтом выделены остатки Cys, участвующие в образовании дисульфидных связей в белках обоих семейств. Положение α -спиралей и дисульфидных связей в 2S альбумине сои соответствует его структурной модели.

Предполагается, что мотив Arg-Gly-Asp способствует проникновению луназина в клетки млекопитающих в течение нескольких минут с последующей локализацией в клеточном ядре в течение нескольких часов (Liu et al., 2014). Это и определяет терапевтическую активность луназина сои (Chatterjee et al. 2018).

В настоящей работе предпринимается попытка установить, могут ли структурно родственные белки из семян других растений (в том числе злаков) быть источником полипептидов, подобно луназину сои обладающих терапевтической активностью.

Гомологичные луназину сои (луназин-подобные) N-концевые аминокислотные последовательности запасных 2S альбуминов двудольных растений относительно вариабельны (рис. 2). Присутствие в структуре всех этих белков α -спирали, характерной для луназина сои (рис. 1, 2), весьма вероятно. Однако, ни в одной из приведенных на рис. 2 последовательностей (включая 2S альбумин сои khn27967) не обнаруживаются существенные для активности

луназина мотив клеточной адгезии Arg-Gly-Asp и поли-Asp цепь (Liu et al., 2014; Wan et al., 2017). Эти наблюдения ставят под сомнение присутствие активного луназина среди 2S альбуминов двудольных растений, N-концевые последовательности которых гомологичны луназину (рис. 2).

aab71140	SKWQ-HQQDSCRKQLQ-GVNLTPCEKHIMEKIQGRGDDDDDDDDDD	<i>Glycine max</i>
khn27967	SKWQQHQQE SCREQLK-GINLNPCE-HIMEKIQAGRRGEDGSDED	<i>Glycine max</i>
poo00443	NYGEGGSRQE CRQQVQ -GRDLSHCRMF MEETS SRGGGRRDDEL	Rosales
tmx00324	TENDVDNPQ SCQEIQ -SQRLNHCRMYISRSHQYFNDELSMVTDD	Solonales
gav60664	EENPRRG QQSCREIQ RQQHNLNDCQQHLVQESQESGSSWGQGRGR	Oxalidales
oay28554	DDAENQPRK SCSREIQQAQNL RD CEEHI RRRTVKQQRGA EDEI ENK	Malpighiales
kms98500	DSD QRIGTDR CR RQLR -SQWPNQ CEE LL MQK MRRHRRYS DDN QGR	Caryophyllales
kfk43625	PVGPRVPKQ KCRKEFQQA KLQAC QQWIL KQSRQ PGSGPS DLDFE	Brassicales
ard06064	LDGLDNPQ EQCRSQIQ -SQQLDHCR MHLTQGIQ NPRRPFQKEQQH	Asterales
eoy12555	ENPWGSKE SCQKQIKKQ NYLKH CQEY MEEQSRG SGSSSS SRERYS	Malvales
pss16261	VEEENPG QQKCREIQ RQQNL RHCQ MYLAQGRDQYEVAMVTD RNP	Ericales
kcw67190	DDNESRGSE SCREHVQ -TQ SLEQCE ELFLDIGRGGSRPSGGD RER	Myrtales
rzc66557	DTTENQ QSQR C QRQMR -GMRMNM CQQYLR QSS Q RGDNIMEEESNP	Ranunculales
aal91665	VEEDSGRE SCQRQFEE QQRFRNC QRYVKQ EV QRGGRY NQRQESL	Sapindales
kzv41172	EENPRG REE SC MQEYQQQ OKL NHC KSWMRSMRGRYFDASFLRSAV	Lamiales
	* : . * . .	

Рис. 2. Аминокислотные последовательности N-концевых областей 2S альбуминов семян двудольных растений. Верхняя строчка (aab71140) соответствует луназину (Liu et al., 2014). Подчеркиванием выделены область α -спирали в структурной модели луназина, а также мотив клеточной адгезии Arg-Gly-Asp, способствующий проникновению луназина в клетки млекопитающих. Приведенные последовательности 2S альбуминов из различных порядков двудольных наиболее близки к луназину. Аминокислотные остатки, идентичные присутствующим в луназине, выделены жирным шрифтом.

К такому же выводу приводит иммунологическое исследование (Alaswad, Krishnan, 2016), проведенное с использованием поликлональных антител, высокоспецифичных к области последовательности луназина сои, соответствующей α -спирали и мотиву клеточной адгезии RGD (рис. 1, 2). Этот результат, как и приведенный выше элайнмент (рис. 2), указывает на присутствие биологически активного луназина лишь в одном (aab71140) из многочисленных вариантов последовательностей 2S альбуминов семян двудольных.

Тем не менее, следует упомянуть о работах, описывающих присутствие биологически активного луназина в семенах двух двудольных растений - *Amaranthus hypochondriacus* (Maldonado-Cervantes et al., 2010) и *Solanum nigrum* (Jeong et al., 2007). Луназин-подобный полипептид, присутствующий в аминокислотной последовательности белка *A. hypochondriacus*, приведенной в работе Maldonado-Cervantes et al. (2010), на 76% идентичен луназину сои. Более того, эти последовательности идентичны в области, соответствующей сигнальному пептиду 2S альбумина сои (рис. 3). Поиски такого белка в международных базах данных, проведенные в обзоре Mitchel et al. (2013), не привели к успеху.

Аналогичным образом, в том же обзоре не найдено сведений о присутствии активного луназин-подобного полипептида среди последовательностей белков семян *S. nigrum* (порядок Solanales).

```

Amaranth 52 INSKMTKFTILLISLLFCIAHTCSASKWQHQQDSCRKQLQGFKMT
aab71140 -4 inskmtkftillisllfciahtcsaSKWQHQQDSCRKQLQGVNLT
          *****
Amaranth 98 ATPPCSEKHITRAFRRAPIQQRGRGISTRGDDDDDDDDDNHIL
aab71140 42 ---PCSEKHIMEKIQG-----RGDDDDDDDDDNHIL
          *****

```

Рис. 3. Элайнмент N-концевых последовательностей незрелого 2S альбумина сои aab71140, содержащего луназин (жирный шрифт), и белка *Amaranthus hypochondriacus* (Maldonado-Cervantes et al., 2010). Звездочками отмечены области, идентичные на уровне нуклеотидных последовательностей. Строчные буквы соответствуют сигнальному пептиду и показанной курсивом предшествующей области из четырех условных триплетов. Подчеркиванием выделены область α -спирали в структурной модели луназина, а также мотив клеточной адгезии RGD.

Приведенная выше информация позволяет предполагать уникальную специфичность N-концевой аминокислотной последовательности 2S альбумина сои aab71140 (рис. 2), сообщающая полипептиду луназина терапевтические свойства. Очевидно, что такая специфичность, никоим образом не связанная с запасной функцией 2S альбуминов в семенах двудольных растений, может быть результатом лишь случайных эволюционных событий. В этой связи следует

напомнить о присутствии в семенах сои двух типов весьма близких по первичной структуре (70% идентичностей и 12% консервативных замен, рис. 2) N-концевых последовательностей 2S альбуминов - aab71140 (содержит активный луназин) и khn27967 (содержит последовательность, наиболее близкую к луназину среди всех других 2S альбуминов двудольных, рис. 2). Отсюда следует, что N-концевая последовательность 2S альбумина khn27967 является безусловным эволюционным предшественником луназина. Это служит едва ли не наиболее весомым доводом в пользу уникального характера аминокислотной последовательности биологически активного луназина сои.

Список литературы

- Alaswad A. A., Krishnan H. B. Immunological investigation for the presence of lunasin, a chemopreventive soybean peptide, in the seeds of diverse plants. *J. Agric. Food Chem.*, 64 (2016), p. 2901-2909.
- Chatterjee C., Gleddie S., Xiao C. W. Soybean bioactive peptides and their properties. *Nutrients*, 10 (2018), p. 1211.
- Dinelli G., Bregola V., Bosi S. Fiori J., Gotti R., Sionetti E., Trozzi C., Leoncini E., Prata C., Massaccesi L., Malaguti M., Quinn R., Hrelia S. Lunasin in wheat: A chemical and molecular study on its presence or absence. *Food Chem.*, 151 (2014), p. 520-525.
- Franco O. L., Rigden D. J., Melo F. R., Grossi-De-Sá M. F. Plant alpha-amylase inhibitors and their interaction with insect alpha-amylases. *Eur. J. Biochem.*, 269 (2012), p. 397-4112.
- Galvez A. F., Chen N., Macasieb J., de Lumen B. O. Chemopreventive property of a soybean peptide (lunasin) that binds to deacetylated histones and inhibits acetylation. *Cancer Research*, 61 (2001), p. 7473-7478.
- Jeong J. B., Jeong H. J., Park J. H., Lee S. H., Lee J. R., Lee H. K., Chung G. Y., Choi J.D., de Lumen B.O. Cancer-preventive peptide lunasin from *Solanum nigrum* L. inhibits acetylation of core histones H3 and H4 and phosphorylation of retinoblastoma protein (Rb). *J. Agric. Food Chem.*, 55 (2007), p. 10707-10713.
- Liu J., Jia S. H., Kirberger M., Chen N. Lunasin as a promising health-beneficial peptide. *Eur. Rev. Med. Pharm. Sci.*, 18 (2014), p. 2070-2075.
- Lule V. K., Garg S., Pophaly S. D., Hitesh, Tomar S. K. Potential health benefits of lunasin: A multifaceted soy-derived bioactive peptide. *J. Food Sci.*, 80 (2015), p. R485-R494.
- Maldonado-Cervantes E., Jeong H. J., León-Galván F., Barrera-Pacheco A., De León-Rodríguez A., de Maija E. G, de Lumen B., de la Rosa A. P. Amaranth lunasin-like peptide internalizes into the cell nucleus and inhibits chemical carcinogen-induced transformation of NIH-3T3 cells. *Peptides*, 31 (2010), p. 1635-1642.
- Mitchell R. A. C., Lovegrove A., Shewry P. R. Lunasin in cereal seeds: what is the origin? *J. Cereal Sci.*, 57 (2013), p. 267-269.
- Odani S., Koide T., Ono T. Amino acid sequence of a soybean (*Glycine max*) seed polypeptide having a poly (L-aspartic acid) structure. *J. Biol. Chem.*, 262 (1987), p. 10502-10505.
- Wan X., Liu H., Sun Y., Zhang J., Chen X., Chen N. Lunasin: a promising polypeptide for the prevention and treatment of cancer (Review). *Oncology Letters*, 13 (2017), p. 3997-4001.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MATLAB ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЦИФРОВЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕМЯН К ВИЗУАЛЬНОМУ ДЕШИФРИРОВАНИЮ

П. А. Щукина, Н. С. Прияткин, М. В. Архипов, Л. П. Гусакова
ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Для улучшения качества цифровых рентгеновских снимков возможно использование ресурсов MATLAB. А именно: провести коррекцию яркости, провести коррекцию контрастности, сделать поиск областей интереса с их дальнейшим отделением от фона автоматическим и настроить удобный вид представления объектов для удобства их дальнейшего анализа.

MATLAB SOFTWARE ENVIRONMENT OPPORTUNITIES FOR PREPARING DIGITAL X-RAY SEED IMAGES FOR VISUAL DECODING

P. A. Shchukina, N. S. Priyatkin, M. V. Arkhipov, L. P. Gusakova
Agrophysical Research Institute

MATLAB resources can be used to improve the quality of digital x-ray images. Namely: to carry out the correction of brightness, to carry out the correction of contrast, to make the search for areas of interest with their further separation from the background automatic and to set up a convenient view of the representation of objects for the convenience of their further analysis. Quick brightness adjustment of images can be done using `imsubtract ()`, which darkens the image, and `immultiply ()`, brightens it. Contrast correction can be done using the built-in `histeq ()` and `imadjust ()` functions, which stretch the image histogram over the entire range provided. It is rougher, but more convenient, a simple recalculation of the brightness of pixels, taking into account the real brightness of the image determined using the histogram `imhist ()`. The search for areas of interest can be carried out through the solution of the problem of image binarization. MATLAB presents the Otsu method in the form of the `graythresh ()` function, which works well on x-rays of seeds due to their brightness uniformity. Simple writing of scripts and their cycles allows you to quickly process each area of interest and transform it in accordance with the needs in each case. The `regionprops ()` function provides information for each region found. In addition, the MATLAB toolkit has a wide selection of morphological operations on a binary image. MATLAB supports both the output of several images in one window, the `subplot ()` function, and the gluing of several images into one, the `montage ()` function. In the second case, all images should be the same size. In addition, MATLAB allows you to generate a script according to the configured image output form, which allows you to automate this process in the future.

Уже довольно давно, фирма Toshiba ещё 1999 году оформила заявку на патент (US6222906B1) рентгеновского аппарата с плоскопанельным детектором, перешли с плёнок на цифровую рентгеновскую съёмку. К 2008 году была принята третья, последняя на данный момент, редакция стандарта DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Данный стандарт поддерживает как плоские изображения, цифровую рентгенографию (Digital Radiography) в целом, так и объёмные – компьютерная томография (Computed Tomography). А с 2010 года на территории РФ введён ГОСТ Р ИСО 12052-2009 Информатизация здоровья. Цифровые изображения и связь в медицине (DICOM), включая управление документооборотом и данными.

Возможность преобразований двумерных сигналов, изображений, с целью получения полезной информации, улучшения качества и восстановления повреждённых фрагментов требовала математического аппарата значительной сложности. В некотором смысле чрезмерном – до сих пор нет единой теории работы над изображениями. Введение новой науки, Иконики, – 1986 год издание культовой книги Robot Vision за авторством Бертольда Клаус Пол Хорна (Horn, 1986), 1970 год в институте проблем передачи информации АН СССР родилась лаборатория обработки изображений – положило начало такому направлению как компьютерное зрение.

Основным инструментом при работе над изображениями стали нейронные сети. В 1943 году появилось само понятие, к 1982 году появилась нейронная сеть Кохонена, обучающаяся без учителя, в 1988 году появилась свёрточная нейронная сеть, нацеленная на эффективное распознавание образов, а в 2007 году Джеффри Хинтоном разработал алгоритмы обучения многослойных нейронных сетей.

Вычислительные возможности современных компьютеров давно обошли любые фантазии и предположения своих изобретателей. В 2018 году NVIDIA опубликовал алгоритм свёрточной нейронной сети (Liu, 2018), восстанавливающей изображения со значительными повреждениями (рис. 1).



Рис. 1. Пример восстановленного изображения

На данный момент, очевидно, что работа с рентгеновскими изображениями, а именно решения следующих задач, таких как улучшение качества изображения; поиск полезной информации; восстановление утерянной информации; сегментация; и других требует не только обширных математических навыков, но и значительных в области программирования (Гонсалес, 2005). Одним из возможных решений данной проблемы – слишком высокий порог входа со стороны программирования – является использование специализированного программного обеспечения, например MATLAB. Данный пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений имеет очень широкий спектр инструментов работы с изображениями. Пакет Image Processing Toolbox предоставляет набор стандартных алгоритмов для обработки и анализа изображений с возможностью написания своих (рис. 2). Инструмент Deep Learning Toolbox даёт возможность создания, анализа и обучения нейронные сети глубокого обучения.

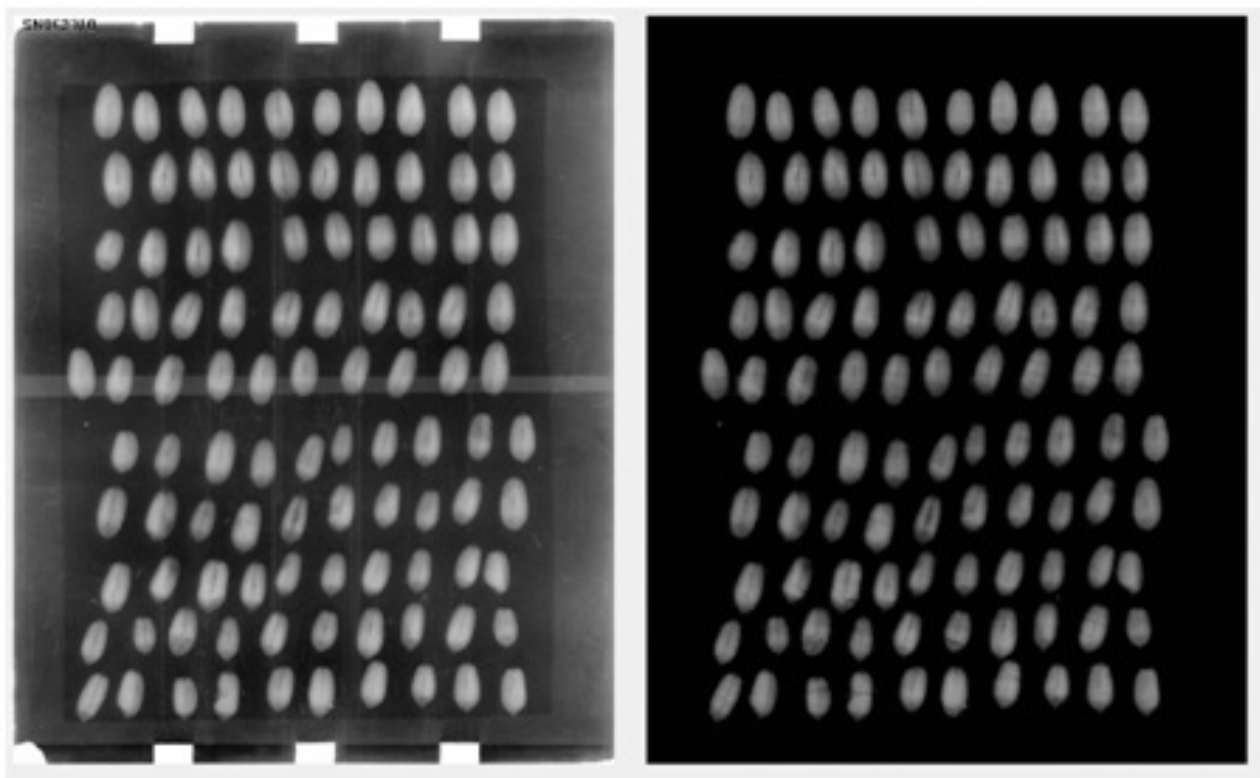


Рис. 2. Пример работы алгоритма реставрации цифрового рентгеновского снимка семян пшеницы (*Triticum aestivum*), написанного методами MATLAB

Обычно при работе над цифровыми рентгеновскими изображениями семян требуется решить следующие задачи:

1. Провести коррекцию яркости;
2. Провести коррекцию контрастности;
3. Поиск областей интереса с дальнейшим отделением фона;
4. Сделать удобный вид представления объектов для их дальнейшего анализа.

1. MATLAB позволяет работать с изображениями как с матрицами, то есть прибавлять и вычитать единицы яркости. С помощью функции `imsubtract()` можно затемнить изображение, а с помощью `immultiply()` осветлить (рис. 3).

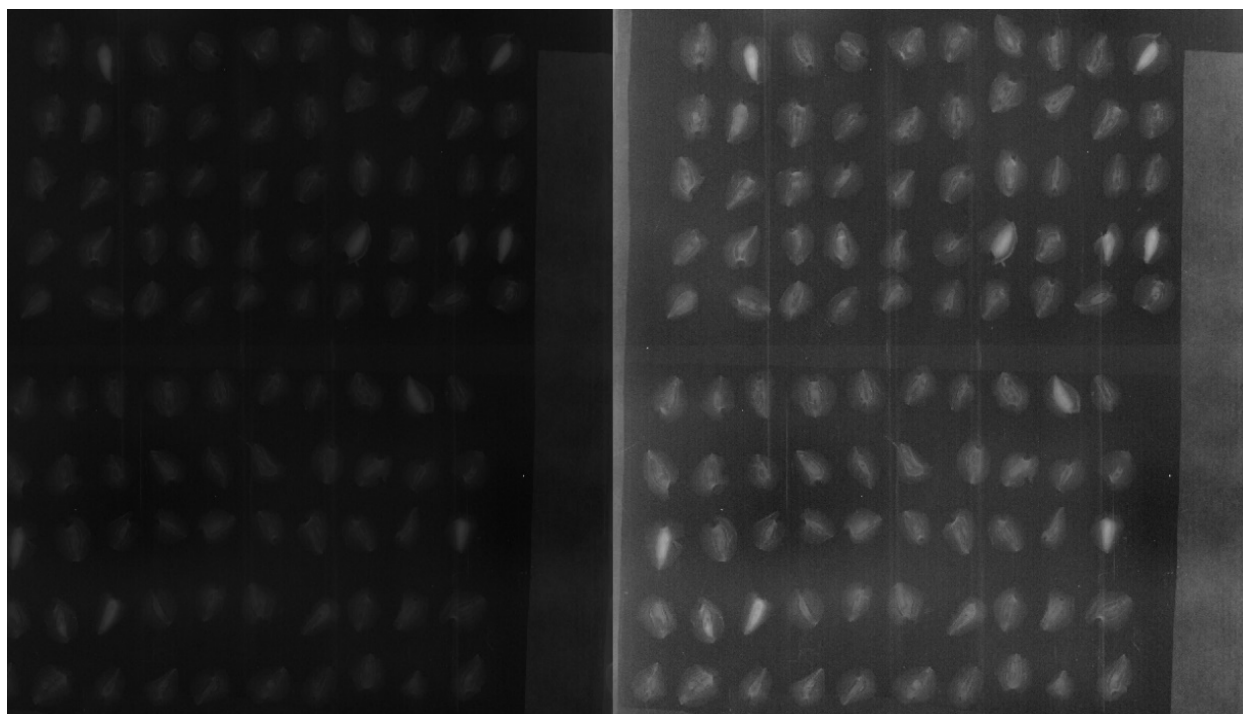


Рис. 3. Результат осветления цифрового рентгеновского изображения семян метасеквойи глиптостробоидной (*Metasequoia glyptostroboides*)

2. Самым простым способом является растяжение гистограммы на весь доступный диапазон, путём простого математического преобразования. По гистограмме определяем порог – самая большая яркость – и пересчитывает новые значения яркости для каждого пикселя (рис. 4.).

```
imhist(I)           % построение гистограммы  
I = double(I)./35  % пересчёт яркости  
imshow(I)          % вывод изображения на экран
```

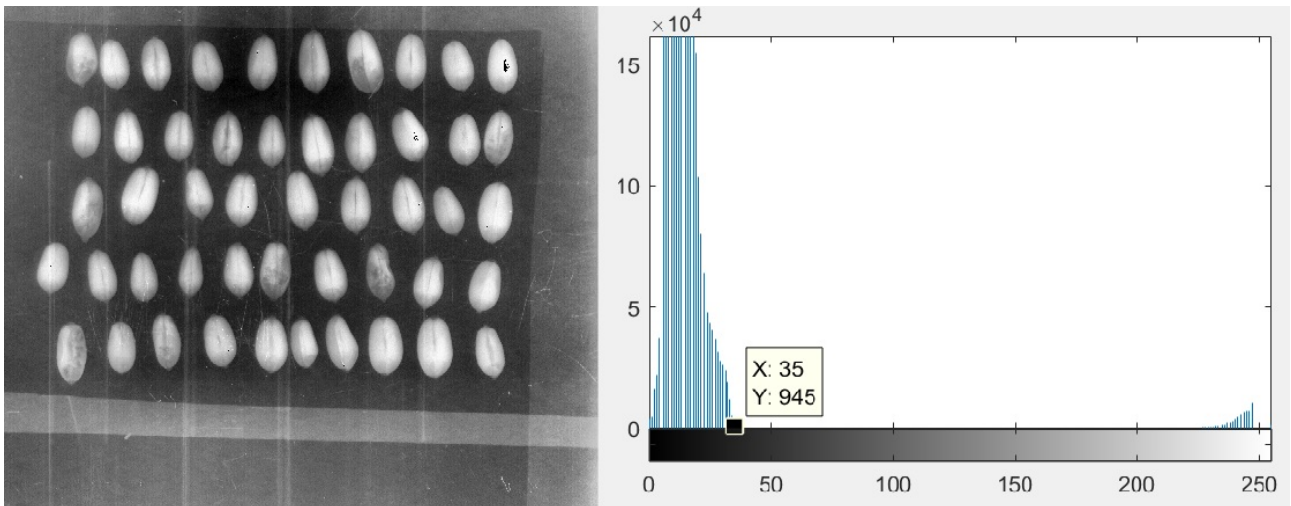


Рис. 4. Результат растяжения гистограммы цифрового рентгеновского изображения семян пшеницы (*Triticum aestivum*)

3. Для поиска областей интереса, а точнее для решения задачи бинаризации изображения (рис. 5.), можно использовать метод Оцу (Otsu, 1979). В матлабе он реализован функцией `graythresh()`.

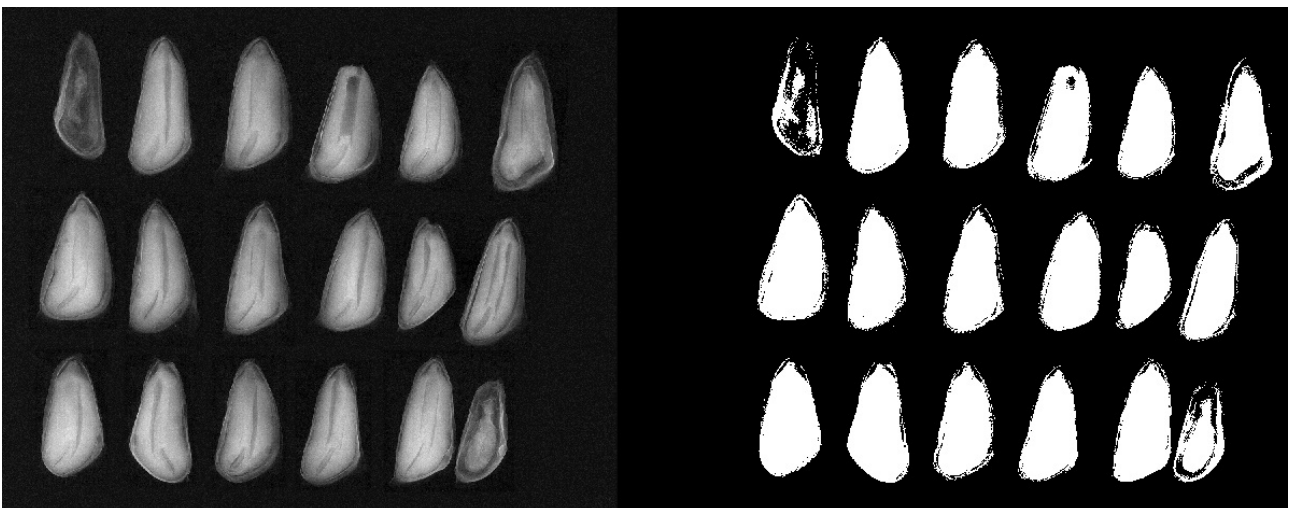


Рис. 5. Результат бинаризации цифрового рентгеновского изображения семян пихты сибирской (*Abies sibirica*)

4. На экран можно вывести только области интереса, также можно ориентировать их по осям инерции для получения единообразия (рис. 6). В этом случае поможет функция `regionprops()`, дающая исчерпывающую информацию по каждой области.

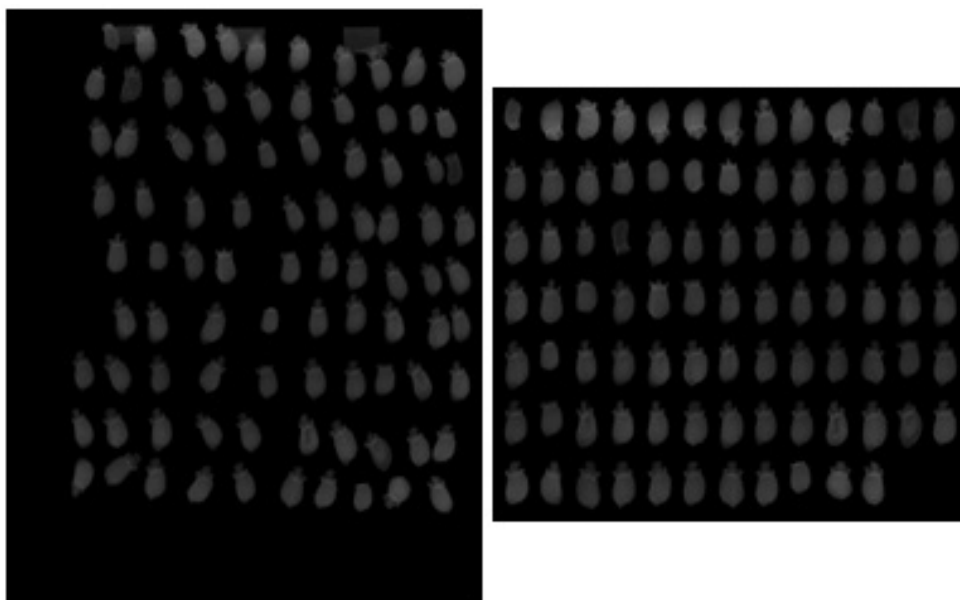


Рис. 6. Результат перекомпоновки областей интереса на цифровом рентгеновском изображении семян бурачника лекарственного (*Borago officinalis* L.)

Таким образом, подготовка и предобработка цифровых рентгеновских изображений в программной среде MATLAB может повысить эффективность работы специалиста-рентгенолога за счет удобства визуализации исходных рентгенограмм.

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с. ISBN 5-94836-028-8.
2. Otsu N. A threshold selection method from gray-scale histogram. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics. 9, 62–66, 1979.
3. Image Inpainting for Irregular Holes Using Partial Convolutions. G. Liu, A. F. Reda, K. J. Shih, T. C. Wang, A. Tao, B. Catanzaro – <https://arxiv.org/abs/1804.07723>.
4. Horn B. K. P. Robot Vision. Cambridge, United States: Mit Press, 1986. 522. ISBN: 978-0-262-08159-7.

РОСТ И РАЗВИТИЕ СТЕБЛЯ СОИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

О. А. Юсова

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский Аграрный научный центр»,
644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26,
E-mail: ksanajusva@rambler.ru*

Выполнен анализ выраженности и изменчивости ростовых признаков стебля сои в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Выявлена отрицательная сопряженность пар ‘сухая биомасса – содержание азота’ и ‘сухая биомасса – содержание сырого жира’ ($r = -0,736$ и $-0,977$). Указанные качественные показатели стебля находились в отрицательной зависимости ($r = -0,572$).

GROWTH AND DEVELOPMENT OF SOYBEAN STEM IN CONDITIONS SOUTH FOREST STEPPE OF WESTERN SIBERIA

O. A. Yusova

*FSBSI «Omsk Agrarian Scientific Center»,
644012 Omsk, pr. Koroleva, 26
E-mail: ksanajusva@rambler.ru*

The analysis of the severity and variability of the growth traits of the soybean stem in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia is carried out. A negative conjugation of pairs ‘dry biomass - nitrogen content’ and ‘dry biomass - crude fat content’ ($r = -0.736$ and -0.977) was revealed. The specified quality indicators of the stem were in a negative relationship ($r = -0.572$).

Соя – однолетнее растение. Стебли и ветви сильно отличаются по толщине: от очень тонких (3–4 мм) до очень крупных (16–20 мм). Стебель прямой, грубый, гранистый, высотой от 25 до 200 см, диаметром от 4 до 22 мм. На нем ясно выражены узлы и междоузлия. Строение и морфология стебля (диаметра стебля в нижних междоузлиях, толщины кольца одревесневшей ксилемы, ширины слоя склеренхимы) обуславливают полегаемость сои (Бурляева, 2009).

Промышленное использование стебля сои, в основном, направлено на получение сырьевых источников целлюлозы (Торгашов и др., 2012). В селекции успешно применяются и используются сегменты стебля в качестве эксплантов для генетической трансформации сои (Raza et al., 2017).

Ветвление стебля – это одна из важных особенностей данной культуры, благодаря которому растение имеет возможность расти, увеличивать поглощающую поверхность подземных и надземных органов, а также более эффективно ассимилировать питательные вещества и энергию окружающей среды. Ветвление является одним из основных признаков при отборе растений на высокую урожайность и скороспелость (Албегов, 2013).

Однако, несмотря на важность данного процесса в жизнедеятельности растений, до настоящего времени особенности ветвления сои и его взаимосвязи с биологическими и хозяйственно-ценными признаками изучены очень слабо. Мало достоверных сведений о том, как влияют агротехнические и природно-климатические условия на ветвление сои (Албегов, 2013).

Цель данного исследования – анализ выраженности и изменчивости ростовых признаков стебля сои в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

Объектом исследований являлись два сорта сои – *Glycine (L) Merr.* – Эльдорадо и СибНИИК 315.

Исследования выполнялись на полевых мелкоделяночных опытах лаборатории селекции зернобобовых культур ФГБНУ «Омский АНЦ» с 2013 по 2015 гг.

Отбор проб для анализа динамики развития стебля осуществлялся по 10 растений в двух полевых повторностях в основные фазы развития агрокультуры (под общ. ред. Лукомца, 2010). Проведен анализ накопления и распределения биомассы стебля (под общ. ред. Кумакова, 1982), биохимические показатели (Беркутова, 1991). Проведена математическая обработка данных (Методика, 2011).

Климатические условия в годы проведения исследований были достаточно контрастными и довольно полно характеризовали особенности южной лесостепной зоны Омской области, что отразилось на росте и развитии растений сои. Достаточным увлажнением отличался период вегетации 2013 года, сумма

осадков превышала среднемноголетние данные в мае, июле и августе в 2–3 раза на фоне недостатка тепла ($-0,8 \div -1,0^{\circ}\text{C}$) с мая по июль.

В 2014 году наблюдалось неравномерное распределение тепла: жаркая погода мая и июня ($+1,3$ и $+0,5^{\circ}\text{C}$ соответственно) сменилась холодным июлем с недобором суммы температур в этом месяце ($-3,4^{\circ}\text{C}$) и превышением по сумме температур в августе ($+3,0^{\circ}\text{C}$). Недобор осадков наблюдался в течение всего периода вегетации (73,3% к среднемноголетним данным).

В период вегетации 2015 г. на фоне обильных осадков ($+8,2 \div +27,8\%$ к норме в мае, июне и августе) наблюдалось неравномерное распределение тепла: жаркие май и июнь ($+2,4 \div +3,0^{\circ}\text{C}$) сменились недобором тепла в июле и августе ($-1,6 \div -0,7^{\circ}\text{C}$).

Сырая биомасса стебля сои увеличивался от 5,2 г/раст. в фазе первого тройчатого листа (Lim. = 4,7...5,8 г/раст.) до 17,2 г/раст. в фазе полной спелости (Lim. = 14,2...22,3 г/раст.), в среднем по сортам, таблица.

Доля сухой биомассы составляла 21,2 и 19,4% (в сырой биомассе) в фазах первого тройчатого листа и бутонизации и возрастала 31,1% в фазе начало созревания. Максимальное содержание сухой биомассы (63,4%) наблюдалось в фазе полной спелости.

В фазе первого тройчатого листа сухая биомасса примордиального и тройчатого листьев, а также стебля отличались незначительно (0,7; 0,7; 1,1 г/раст.) соответственно. В следующей фазе сухая биомасса стебля и тройчатого листа выросла соответственно в 4,4 и 6,7 раз. В фазе конец цветения – начало образования лопаток основную массу генеративной части растения составляет тройчатый лист (в среднем 11,0 г/раст.). В следующей фазе сухая биомасса тройчатого листа возрастает незначительно (в среднем на 1,0 г/раст.), сухая биомасса стебля, благодаря интенсивному росту, увеличивается в 2,7 раза. В фазе полной спелости растения основная биомасса генеративной части растения находилась в стебле (10,9 г/раст.).

**Таблица. Биохимический анализ стебля растений сои,
в среднем за 2013–2015 гг.**

Сорт	Сырая масса, г/раст.			Сухая биомасса, г/раст.			Содержание сырого жира, %			Содержание общего азота, %		
	Lim.	\bar{x}	CV, %	Lim.	\bar{x}	CV, %	Lim.	\bar{x}	CV, %	Lim.	\bar{x}	CV, %
Фаза первого тройчатого листа												
СибНИИК 315, st.	4,7-5,8	5,2	10,7	1,0-1,1	1,0	3,4	2,0-2,2	2,1	5,3	3,2-4,7	4,0	10,0
Эльдорадо	4,7-5,7	5,2	9,9	1,0-1,1	1,1	3,3	1,6-3,0	2,3	2,1	2,4-2,9	2,6	9,3
Среднее по сортам	–	5,2	–	–	1,1	–	–	2,2	–	–	3,3	–
Фаза бутонизации												
СибНИИК 315, st.	21,6-28,9	25,2	14,3	4,3-5,6	4,9	12,9	2,0-2,8	2,4	17,5	1,8-2,8	2,3	5,3
Эльдорадо	23,3-25,1	24,2	13,7	4,5-4,6	4,6	10,9	1,3-3,3	2,3	12,5	2,0-2,1	2,0	2,9
Среднее по сортам	–	24,7	–	–	4,8	–	–	2,4	–	–	2,2	–
Конец цветения – начало образования лопаток												
СибНИИК 315, st.	12,3-17,8	14,0	19,2	4,1-5,5	4,6	24,9	1,3-2,5	2,0	31,2	1,8-2,6	2,2	18,2
Эльдорадо	10,7-16,0	13,3	28,0	3,4-5,1	4,2	28,2	1,2-2,3	1,8	44,4	1,6-2,0	1,8	15,7
Среднее по сортам	–	14,0	–	–	4,6	–	–	2	–	–	2,2	–
Начало созревания												
СибНИИК 315, st.	32,8-43,0	42,9	19,2	10,5-15,9	13,7	15,4	1,2-1,6	1,4	15,7	0,7-1,4	1,0	34,9
Эльдорадо	27,5-42,5	35,0	21,4	8,6-12,3	10,5	17,5	1,5-1,6	1,6	12,9	0,8-1,0	0,9	37,3
Среднее по сортам	–	38,9	–	–	12,1	–	–	1,5	–	–	1,0	–
Полная спелость												
СибНИИК 315, st.	14,2-16,9	15,6	18,7	8,3-11,7	10,5	13,8	0,8-1,2	1,0	10,4	0,5-0,6	0,5	9,3
Эльдорадо	15,3-22,3	18,8	18,5	10,3-12,1	11,2	18,0	0,6-1,0	0,9	13,9	0,4-0,7	0,5	10,6
Среднее по сортам	–	17,2	–	–	10,9	–	–	1,0	–	–	0,5	–
	1,7	–	0,9	–	0,2	–	0,4	–	–	0,4	–	–

Одну из проблем кормопроизводства (дефицит белковых компонентов в кормах) планируется решить с помощью зернобобовых культур, в частности, сои. Согласно литературным данным, в зеленой массе сои содержится до 20% белка (Головина, Зотиков, 2013), что составляет порядка 3,5% общего азота. Данные наших исследований показали, что максимальное содержание азота в стебле наблюдалось в начальный период развития (фаза первого тройчатого листа) и составляло 3,3% (Lim. = 2,4...4,7%), в среднем по сортам. В последующие фазы развития содержание в стебле общего азота снижалось и составило 0,5% в фазе полной спелости.

Биохимический анализ вегетативных органов растений сои показал, что основная масса общего азота содержалась в листьях растений (тройчатый и примордиальный). Содержание азота в стебле растений уступало аналогичному показателю листовой массы в 0,4–1,1 раза на протяжении всего периода вегетации.

Содержание сырого жира в стебле растений в фазе первого тройчатого листа составило 2,2% (Lim. = 1,6...3,0%), в среднем по сортам. В следующей фазе наблюдалось незначительное накопление данного показателя качества (2,4%) и его снижение до уровня 1,0% к полной спелости растений.

Анализ масличности вегетативных органов растений свидетельствует, что, в основном, значительная часть масла содержалась в листьях растений (от 2,9 до 3,9% в примордиальном листе и от 2,5 до 4,5% в тройчатом). Однако, в течении вегетации разница по содержанию сырого жира между вегетативными органами снижается. Так, в первые фазы развития масличность листовой массы превышала аналогичный показатель стебля в 0,6–0,9 раза. В фазах конец цветения – начало образования лопаток и полной спелости данное отношение сократилось до 0,4 раза.

В начальный период развития растений (фаза первого тройчатого листа) наблюдалась незначительная изменчивость исследуемых признаков ($CV < 10\%$). В фазе бутонизации у признаков сырая и сухая биомасса, а также содержание сырого жира, изменчивость увеличивалась до уровня средней ($10\% < CV < 20\%$) и до уровня значительной в фазе конец цветения – начало образования лопаток ($CV > 20\%$). Содержание в стебле азота варьировало в меньшей степени (незначительная изменчивость наблюдалась в фазах первого тройчатого листа и бутонизации, средняя в фазе конец цветения – начало образования лопаток и значительная в фазе начала созревания). В фазе полной спелости отмечена средняя изменчивость признаков сырая, сухая биомасса и содержание сырого жира и незначительная по содержанию в стебле общего азота.

Климатические условия периода вегетации, оказывают непосредственное влияние на рост и развитие растений сои (Юсова, 2018). Так, согласно данным дисперсионного анализа, основное влияние на накопление сухой биомассы стебля оказывали условия года (Фактор А = 70%); масличность стебля – генетически обусловленный признак (Фактор Б = 67,2%); по содержанию в стебле азота наблюдалась высокая доля генотипа (Фактор А = 53,6%) при значительной доле условий выращивания (Фактор Б = 36,0 %).

Корреляционный анализ показал, что с повышением суммы температур наблюдалось более интенсивное накопление в стебле растений сои общего азота ($r = 0,980$) и замедление накопления сырого жира ($r = -0,723$). С увеличением суммы осадков, напротив, накопление общего азота замедлялось ($r = -0,478$), а сырого жира увеличивалось ($r = 0,446$). При этом указанные качественные показатели стебля находились между собой в отрицательной зависимости ($r = -0,572$).

Общая биомасса стебля имела сильную сопряженность с сухой биомассой ($r = 0,711$). В свою очередь, при повышении накопления сухой биомассы наблюдалось снижение содержания в ней общего азота ($r = -0,736$) и сырого жира ($r = -0,977$).

Сравнительный анализ исследуемых сортов показал, что сорт Эльдorado превышал стандарт только по накоплению сырой биомассы (+3,2 г/раст. к st.). По остальным исследуемым признакам сорт Эльдorado характеризовался показателями на уровне, либо ниже стандарта.

Выводы

1. Стебель является центральным органом вегетативной части растений сои (в течение периода вегетации доля сухой биомассы стебля составляла от 30 до 50%, содержание сырого жира и азота – около 30% в общей генеративной биомассе).

2. Сырая биомасса стебля сои нарастала от фазы первого тройчатого листа (5,2 г/раст.) до фазы полной спелости (17,2 г/раст.) на фоне снижения содержания в ней сырого жира и азота (от 2,2 и 3,3% соответственно до 1,0 и 0,5%).

3. Выявлена отрицательная сопряженность пар «сухая биомасса – содержание азота» и «сухая биомасса – содержание сырого жира» ($r = -0,736$ и $-0,977$).

4. С повышением суммы температур наблюдалось более интенсивное накопление в стебле растений сои общего азота ($r = 0,980$) и замедление накопления сырого жира ($r = -0,723$). С увеличением суммы осадков, напротив, накопление общего азота замедлялось ($r = -0,478$), а сырого жира увеличивалось ($r = 0,446$). Указанные качественные показатели стебля находились между собой в отрицательной зависимости ($r = -0,572$).

5. Учитывая высокую вариабельность признаков (накопление сухой биомассы, содержание азота и сырого жира) в фазах конец цветения – начало образования лопаток и начало созревания, отборы по перечисленным показателям рекомендуется осуществлять именно в данных фазах.

Список литературы

Албегов Р. Б. Ветвление стебля как фактор адаптивности стабильности сортообразцов сои // Известия Горского государственного аграрного университета. 2013. Т. 50. № 2. С. 317–321.

Беркутова Н. С. Методы оценки и формирования качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991. 206 с.

Бурляева М. О. К методике отбора образцов сои, устойчивых к полеганию // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 166. С. 26–33.

Головина Е. В., Зотиков В. И. Влияние погодных условий на продукционный процесс у сортов сои северного экотипа // Сельскохозяйственная биология. 2013. № 6. С. 112–117.

Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Б. А. Доспехов. Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. Москва: Альянс, 2011. 350 с.

Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / Под общей редакцией В. М. Лукомца. Изд. 2-е. Краснодар, 2010. 328 с.

Методические рекомендации по определению некоторых физиологических показателей растений пшеницы при сортоизучении / Под общей редакцией В. А. Кумакова. М.: Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина, 1982. 27 с.

Торгашов В. И., Зубец О. В., Герт Е. В., Капуцкий Ф. Н. Сравнительное исследование надмолекулярной структуры целлюлозы из лиственной древесины, стеблей ржи, рапса и сои // Химия растительного сырья. 2012. № 1. С. 31–37.

Юсова О. А., Асанов А. М., Омелянюк Л. В. Особенности примордиального листа сои в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Масличные культуры. НТБ ВНИИМК. 2018. Вып. 4(176). С. 84–90. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-4-176-84-89

05.13-19P1.343 Исследовали возможность сбраживания стеблей сои для производства L-молочной кислоты РЖ 19Р-1 // Химия и технология пищевых продуктов. 2005. № 13.

Raza G., Singh M. B., Bhalla P. L. In vitro plant regeneration from commercial cultivars of soybean // BioMed Research International, 2017, 2017: Article ID 7379693. DOI: 10.1155/2017/7379693

УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИОННЫМ ПРОЦЕССОМ СТЕПНЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ ХАКАСИИ

Е. П. Яковлева

*ФГБНУ Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии
имени В.Р. Вильямса*

В результате проведенного нами агроландшафтно-экологического районирования Восточно-Сибирского природно-экономического района установлено пространственное распределение биологических и экологических закономерностей в агроэкосистемах степной зоны республики Хакасия. Они являются основой управления продукционным процессом агроэкосистем.

MANAGEMENT OF PRODUCTION PROCESS OF KHAKASSIA STEPPE AGROECOSYSTEMS

E. P. Yakovleva

Federal Williams Research Center of forage Production and Agroecology

As a result of our agrolandshapt-ecological zoning of the East Siberian natural-economic region, the spatial distribution of biological and ecological patterns in the agroecosystems of the steppe zone of the Republic of Hakassia has been established. They are the basis for managing the production process of agroecosystems. The unsustainable use of agricultural land has led to their critical condition. The conservation, regulation and rational use of steppe agroecosystems is an important not only state, but also regional problem. In a steppe zone of Khakassia the Minusinsk province a part of which it is allocated two districts – Shirinsko-Uybatsky and Abakano-Eniseysky are. In the Shirinsky-Uybat district, steppe pastures prevail. The most common finely turf cereal pastures: tipchak, thin-legged, stingrays of varying degrees of shedding. The areas of degraded solid-wool and semi-market groups are significant. In the southern part of the district, large turf grasslands are common - feather and oatmeal. The efficiency of all steppe pastures low – the prevailing values from 0.15 to 0.4 t/hectare, is more rare than 0.4–0.5 t/hectare of dry weight. The main haying grounds in the district are dated for valley and low-lying locations. Cereals polydominant, cereal-differently herbs, bentgrass-cereal-differently herbs with a bentgrass huge, wheat grass-cereal-differently herbs are most widespread. Average yield of hay of all haymakings of 0.9–0.13 t/hectare, but such indicators are characteristic of years, favorable on weather conditions. In dry years the productivity decreases to 0.4–0.6 t/hectare of hay. In the Abakano-Yenisei district, the largest areas are occupied by finely turf grasslands of varying degrees of shedding. Significant areas, mainly on solonetzic soils, are occupied with oat-grass herbage and their derivatives. With intensive grazing of these steppes, the abundance increases sedge foot of visible and iris two scales. The main areas of natural hayfields are located in the Abakan floodplain. Here cereal polydominant, wheat grass meadows with productivity about 0.12 t/hectare of hay are most widespread.

Нерациональное использование сельскохозяйственных земель привело к их критическому состоянию. Сохранение, регулирование и рациональное использование почвенных ресурсов агроэкосистем является важнейшей не только государственной, но и региональной проблемой.

В результате проведенного нами агроландшафтно-экологического районирования Восточно-Сибирского природно-экономического района с использованием картографических, литературных, статистических материалов установлены закономерности пространственного распределения биологических и экологических закономерностей агроэкосистем республики Хакасия. Приведен анализ состояния, необходимости биологизации и экологизации сельского хозяйства в степной зоне республики Хакасия.

Территория республики Хакасия (площадь 6156,9 тыс. га) очень неоднородна по комплексу природных условий. Западная часть занята горами Кузнецкого Алатау, восточная представлена равнинными пространствами межгорных котловин Минусинской и Чулымо-Енисейской, на юге расположены высокие хребты Западного Саяна. Климат резко континентальный. Средняя температура июля на равнинных территориях 17,7°C, января –24,0°C, осадков выпадает 340 мм в год. В горах средняя температура июля 7–20°C, осадков выпадает от 400 до 1000 мм в год.

Равнинные территории Хакасии относятся к Степной зоне, которая в Восточной Сибири носит островной характер. Горная часть республики тяготеет к Лесостепной зоне. На территории Степной зоны (С) выделена 1 провинция – Минусинская (С₁), в составе которой 2 округа – Ширинско-Уйбатский (С₁I) и Абакано-Енисейский (С₁II). Горные территории вошли в 1 горную провинцию – Салаиро-Кузнецко-Саянскую (Г_{ЛС1}) и 2 округа – Кузнецко-Алатауский (Г_{ЛС1}I) и Западно-Саянский (Г_{ЛС1}III).

Степная зона. Минусинская провинция

С₁I. Ширинско-Уйбатский округ приурочен к Чулымо-Енисейской котловине. Здесь преобладают эрозионно-денудационные цокольные ландшафты. Рельеф преимущественно равнинный куэстово-грядовый, на западе холмисто-увалистый. Дренируется реками Чулым и Енисей, много озер. Почвенный покров представлен черноземами обыкновенными и южными. Значительно реже встречаются каштановые и темно-каштановые почвы. Луговые, лугово-болотные, солончаковые и солонцеватые приурочены к поймам и надпойменным террасам рек, прибрежным участкам озер. Лесами занято 11 % территории округа. В основном это березовые, осиново-березовые, сосново-лиственничные леса и перелески.

Сельскохозяйственные угодья занимают 73,0% площади округа: под пашней 33,3%, под пастбищами 33,7%, под сенокосами 5,0%, под залежами 1,0%.

Преобладают степные пастбища. Луговые, лесные, залежные пастбища занимают меньшие площади. Наиболее распространены мелкодерновиннозлаковые пастбища: типчаковые, тонконоговые, житняковые разной степени сбитости. Значительны площади деградированных твердоватосочковых и полыньковых группировок. В южной части округа распространены крупнодерновиннозлаковые пастбища – ковыльные и овсецовые. В первом случае доминирует ковыль волосатик, в меньшем обилии ковыль сибирский, типчак, тимофеевка степная, многовидовое разнотравье. Во втором случае овсец пустынный сопровождается мелкодерновинными злаками, осочкой стоповидной, полынками. На юге округа встречаются пастбища по каменистым степям. Эти угодья пригодны под выпас мелкого рогатого скота (мрс). Травостои их невысокие, сильно изреженные. В их основе типчак, тонконог, мятлик даурский; менее обильны ковыли, пыреи, житняк, осочки; из разнотравья – лапчатки, ирис желтеющий и др.. Продуктивность всех степных

пастбищ низкая – преобладающие значения от 1,5 до 4 ц/га, реже 4–5 ц/га сухой массы.

Основные сенокосные угодья в округе приурочены к долинным и низинным местоположениям. Это самые урожайные, с травостоями хорошего качества кормовые угодья. Наиболее распространены злаковые полидоминантные, злаково-разнотравные, полевицево-злаково-разнотравные с полевицей гигантской, пырейно-злаково-разнотравные травостои. Втрое меньшие площади занимают засоленные луговые сенокосы с ячменево-лисохвостными, бескильницевыми, злаковыми, злаково-осоковыми солончаковыми травостоями. Средняя урожайность сена всех сенокосов 9-13 ц/га, но такие показатели характерны для благоприятных по погодным условиям лет. В сухие годы урожайность снижается до 4–6 ц/га сена. Сильно снижает урожайность и ухудшает видовой состав травостоев бессистемный выпас скота ранней весной как на пойменных, так и на низинных сенокосах.

Экологическое состояние пастбищ и сенокосов округа оценивается как напряженно-кризисное, пашни – от напряженного на юге до кризисного на севере, лесов – кризисное (Эколога-географическая ..., 1996).

С₁П. Абакано-Енисейский округ расположен в Минусинской котловине, для которой характерны равнинные древнеаллювиальные ландшафты и ландшафты возвышенных предгорий. Рельеф куэстово-грядовый с широкими межгрядовыми понижениями, в центральной части холмисто-увалистый. Гидрографическая сеть в округе развита слабо. Это р. Абакан с несколькими притоками, впадающая в Енисей, по которому проходит восточная граница округа. Почвенный покров состоит из черноземов обыкновенных и южных. На террасах долины Абакана темно-каштановые почвы. Встречаются солонцы, реже солончаки луговые. Для пойм Абакана и Енисея характерны пойменные слоистые темно-бурые, лугово-болотные почвы. Лесной растительностью занято

11% площади округа, в основном это сосновые, сосново-березовые и березовые перелески.

Более трех четвертей площади округа занимают сельскохозяйственные угодья, в том числе пашни – 33,3%, пастбища – 36,9%, сенокосы – 3,3%, залежи – 1,7%.

Среди пастбищных травостоев наибольшие площади занимают мелкодерновиннозлаковые разной степени сбитости. Значительные площади, главным образом на солонцеватых почвах, заняты овсецовыми травостоями и их производными. При интенсивном выпасе этих степей возрастает обилие осочки стоповидной и ириса двучешуйного, иногда последний разрастается, образуя сплошные заросли. Особенно быстрое зарастание ирисом происходит при перетравливании пастбищ на пониженных элементах рельефа. Такие участки можно отнести только к зимним пастбищам, поскольку летом ирис двучешуйный практически не поедается скотом. В западной части округа встречаются каменистые степи, травостои которых при умеренном выпасе пригодны для мрс, особенно ранней весной. Также они могут использоваться в качестве зимних пастбищ, поскольку располагаются по вершинам и южным склонам холмов, где снега всегда мало. Имеющиеся в округе залежи используются в основном как пастбища для крупного рогатого скота. Среди залежных травостоев наиболее распространены пырейные, полынные, вострецовые, часто с большой долей бурьянистого разнотравья. На юге округа встречаются незначительные площади самых низкопродуктивных песчаных пастбищ.

Основные площади природных сенокосов расположены в пойме Абакана. Здесь наиболее распространены злаковые полидоминантные, кострецовые и пырейные луга с урожайностью около 12 ц/га сена. Выкашиваются также долинные и низинные солончаковые луга с ячменевыми, бескильницевыми, лисохвостными травостоями производительностью 6–11 ц/га, а по отдельным

типам 4–9 ц/га сена. Низкая урожайность связана с практикой весеннего выпаса скота на сенокосах.

Экологическое состояние земельных угодий в округе – пашни, ПКУ, лесов – оценивается как напряженное (Эколого-географическая ..., 1996).

Приоритет в биологизации и экологизации сельского хозяйства связан с многолетними травами и травяными экосистемами, которые являются основными почвообразователями и обеспечивают устойчивость сельскохозяйственных земель к воздействию засух, эрозии, дефляции (Рекомендации ..., 2003; Рациональное природопользование и кормопроизводство ..., 2018).

Основным источником пополнения запасов гумуса и азота в почвах являются многолетние травы. В рациональной структуре посевных площадей должно быть максимальное количество многолетних трав и бобовых культур (не менее 20–25%) (Трофимова, Трофимов, Яковлева, 2016).

В Хакасии кормовые травы и прочие кормовые культуры в структуре посевных площадей занимают 61% (Сельское хозяйство Хакасии ..., 2019), причем преобладают посевы многолетних трав, используемые на сено, зеленый корм, силос, сенаж. Однако этого явно недостаточно, т. к. потери гумуса не снижаются.

Внесение удобрений на пашни республики критически низкое. составило 0,3 т органических и 4,0 кг минеральных удобрений на 1 га пашни. Исследования показали, что воспроизводство органического вещества в республике и предотвращение дегумификации возможно при условиях наличия в севообороте 40% многолетних трав, мелкой обработке почвы и совместном внесении навоза с минеральными удобрениями (Градобоева и др., 2011; Карбутов, Уваров, 2016).

Список литературы

1. Градобоева Н.А., Елизарьев В.В., Игнатенко Л.П., Сиренева Н.В. Состояние почвенного плодородия пахотных почв Республики Хакасия // Плодородие, №2(59), 2011. С. 6–8.
2. Карбутов А.П., Уваров Г.И. Гумусное состояние чернозема типичного в зависимости от интенсивности использования (Почвоведение - продовольственной и экономической безопасности страны, VII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, материалы докладов, ч. I, Белгород, 15-22 августа 2016. С. 81–82.
3. Рациональное природопользование и кормопроизводство в сельском хозяйстве России / Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса. М.: РАН, 2018. 132 с.
4. Рекомендации по созданию продуктивных и устойчивых агроландшафтов / Шпаков А.С., Трофимов И.А., Кутузова А.А., Зотов А.А., Харьков Г.Д., Прологова Т.В., Тебердиев Д.М., Трофимова Л.С., Лебедева Т.М., Яковлева Е.П., Благовещенский Г.В., Штырхунов В.Д. М.: Россельхозакадемия, 2003. 44 с.
5. Сельское хозяйство Хакасии [электронный ресурс]: Экспертно-аналитический центр агробизнеса. WWW. ab-centre.ru, дата обращения 01.12.2019.
6. Трофимова Л.С., Трофимов И.А., Яковлева Е.П. Экологические проблемы черноземов в агроландшафтных исследованиях / Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны, VII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, материалы докладов, ч. I, Белгород, 15–22 августа 2016. С. 128–129.
7. Эколого-географическая карта Российской Федерации. М 1:4000000. Географический ф-т МГУ, 1996. Роскартография, 1996. 4 л.

АНАЛИЗ СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ МАРКЕРОВ

Н.А. Рушина, Г.В. Мирская

*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14*

Целью исследования было проведение молекулярно-генетического скрининга растений яровой мягкой пшеницы с использованием микросателлитных маркеров. В исследовании были использованы 12 SSR-маркеров группы XGWM. Отобранные SSR-маркеры генетически сцеплены с хозяйственно ценными признаками устойчивости и продуктивности и находятся в различных группах сцепления. В качестве исследуемого растительного материала были отобраны 26 генотипов яровой пшеницы различного происхождения. Выявлено 194 полиморфных фрагментов размером от 120 до 261 пар нуклеотидов.

В настоящее время состав сортов возделываемых растений, как в нашей стране, так и за рубежом характеризуется низким генетическим разнообразием. Один из путей расширения генетического разнообразия сортов яровой мягкой пшеницы – вовлечение в гибридизацию новых перспективных источников хозяйственно ценных признаков из мирового генофонда. ДНК-маркеры общепризнаны как эффективный и надежный способ характеристики генетических ресурсов пшеницы (1).

Набирают популярность и широкое распространение SSR маркеры (simple sequence repeat – простые повторяющиеся последовательности) или микросателлитные маркеры. Отличительной особенностью микросателлитов является их полиморфность и короткие (от 1 до 10 п.н.) геномные повторы, которые равномерно распределены по геному пшеницы (2, 3, 4, 5). В связи с этим актуальны исследования генетического разнообразия сортов пшеницы с целью совершенствования селекционной работы за счет использования всего генетического потенциала вида.

Цель настоящей работы – использование SSR маркеров для анализа сортов яровой мягкой пшеницы и подбора наиболее генетически удаленных сортов и линий для гибридизации.

Объектом молекулярных исследований были сорта и линии мягкой пшеницы. Идентификацию растений пшеницы проводили набором маркеров серии XGWM (Gatersleben Wheat Microsatellites, ИПК-Gatersleben, Германия) (6, 7), ассоциированных с некоторыми агрономическими признаками продуктивности и устойчивости (табл. 1).

Таблица 1. Перечень микросателлитных маркеров и ассоциированных с ними агрономических признаков продуктивности и устойчивости

Номер микросателлита	Локус	Длина фрагмента п.н.	Признак	Литературный источник
1	Xgwm52-3D	Opata 142	Твердость зерна	Perretant M. R. et al., 2000
		Synth 128		
2	Xgwm165-4A Xgwm165-4B	Opata188	Устойчивость к бурой ржавчине и желтой ржавчине	Herrera-Foessel S. A. et al., 2011
		Synth193		
		Opata257		
		Synth261		
3	Xgwm495-4B	Opata 160	Устойчивость к Elymus mollis (Trin.) Nara	Yang M. N. et al., 2008
		Synth 178		
4	Xgwm512-2A	Opata 185	Период всходы-колошение	Файт В. И., 2015.
		Synth-		
5	Xgwm397-4A	Opata 175	Доуборочное прорастание	Chen C. X. et al., 2008
		Synth 193		
6	Xgwm533.1-3B Xgwm533.2-3B	Opata 120	Устойчивость к стеблевой ржавчине	Hayden M. J. et al, 2004
		Synth 316		
7	Xgwm261-2D	Opata 164	Устойчивость к бурой ржавчине	Khan M. A. et al., 2012
		Synth 194		
8	Xgwm71.1-2A	Opata 126	Масса зерен	Kazi A. G. et al. 2012.
		Synth 124		
9	Xgwm341-3D	Opata 166	Устойчивость к бурой ржавчине	Khan M. A. et al., 2012
		Synth 157		
10	Xgwm295-7D	Opata 254	Устойчивость к бурой ржавчине	Радченко А. М., 2010
		Synth 258		
11	Xgwm114-3B Xgwm114-3D	Opata 168	Устойчивость к овсянке обычной	Cota L. C. et al., 2010
		Synth 142		
		Opata 134		
		Synth 181		
12	Xgwm131-1B	Opata 165	Содержание хлорофилла	Pandey G. C. et al., 2015
		Synth 157		

Выделение ДНК производили из 5-дневных проростков по методике Bousquet et al., 1990. Визуализацию продуктов ПЦР–анализа проводили на 2% – агарозном геле с добавлением бромистого этидия. Анализ полученных данных осуществляли в программе Bio-Rad Image Lab 4.1.

С применением SSR-маркеров изучен генетический полиморфизм 26 генотипов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) разного эколого-географического происхождения по 12 микросателлитным локусам, амплифицировано 194 полиморфных фрагментов размером от 120 до 261 пар нуклеотидов (табл. 2). Выявлено уникальное сочетание набора микросателлитных участков индивидуально для каждого изученного генотипа пшеницы, что может служить источником важных генетико-селекционных признаков для более эффективного использования генетических ресурсов растений

Список литературы

1. Митрофанова О.П. Генетические ресурсы пшеницы в России: состояние и предселекционное изучение // Вавил. журн. генет. и селекции. 2012. Т.16. № 1. С. 10–20.
2. Хлесткина Е.К., Салина Е.А. SNP-маркеры: методы анализа, способы разработки и сравнительная характеристика на примере мягкой пшеницы // Генетика. 2006. Т. 42. С. 725–736.
3. Ganal M.W., Röder M.S. Microsatellite and SNP markers in wheat breeding // Genomics assisted Crop Improvement. 2007. V. 2. P. 1–24.
4. Чесноков Ю. В., Косолапов В. М. Генетические ресурсы растений и ускорение селекционного процесса. 2016.
5. Röder M. S. et al. A microsatellite map of wheat // Genetics. 1998. Т. 149. №. 4. С. 2007–2023.
6. Pestsova E., Ganal M. W., Röder M. S. Isolation and mapping of microsatellite markers specific for the D genome of bread wheat // Genome. 2000. Т. 43. № 4. С. 689–697.

Таблица 2. Перечень аллелей, выявленных с помощью 12 полиморфных микросателлитных локусов (номера сателлитов обозначены цифрами)

Длина маркирующего фрагмента, п.н. / Номер линии, сорта	116–120	121–125	126–130	131–135	141–145	156–160	161–165	166–170	171–175	176–180	181–185	186–190	191–195	251–255	256–260	261–265	316–320
ITMI 7				1		3						2	5				
ITMI 10				1		3					4	2	5		2	2	
ITMI 29			1							3			2,5		2	2	
ITMI 32			1							3		2	2,5		2	2	
ITMI 31	6	8	8	11		9,13		12		3	4	2	5,7	10			
ITMI 42		8	8			3,9	12	9	5		4,11	2			10		6
ITMI 44				1		3			5			2					
ITMI 47			1	1						3	4	2	2,5				
ITMI 57			1						5	3		2			2	2	
ITMI 58	6	8	8		11	3,9	7,12		5		4				10		
ITMI 59		8	8			3,9	7,12				11	2	5	10			6
ITMI 60		8	8			3,9	7,12		5		11	2	2		10		
ITMI 80		8	8			3,9	12				4,11	2	5,7	10			6
ITMI 83			1							3		2	5		2		
ITMI 88				1						3	4		5				

Длина маркирующего фрагмента, п.н. / Номер линии, сорта	116–120	121–125	126–130	131–135	141–145	156–160	161–165	166–170	171–175	176–180	181–185	186–190	191–195	251–255	256–260	261–265	316–320
ITMI 89			1			3					4	2	5		2	2	
ITMI 94		8	8		11	3,9	12	7,9			4		2,5,7		10		6
ITMI 115			1			3					4	2	2				
Мера				1						3,5	4	2	2				
Агата				1						3	4	2	2,5			2	
Любава				1					5	3	4	2	2				
Злата				1					5	3	4	2	2				
Лиза				1					5	3	4	2	2				
АФИ 91				1		3			5		4	2					
АФИ 177				1		3					4	2	2				
Albidum 653		8	8	11		9	12	9		3	4,11		2,5,7	10			

СОВРЕМЕННЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ

Л. А. Неменушчая

ФГБНУ «Росинформагротех»

Рассмотрены технологии, основанные на физических методах обработки сельскохозяйственного сырья, в частности ультразвуковой обработки. Дан анализ отечественных достижений в данной области. Сформулированы основные направления применения ультразвуковых методов перспективных для АПК. Предложены технологии с использованием ультразвуковых методов, внедрение которых обеспечит импортозамещение и повышение конкурентоспособности отечественной сельскохозяйственной продукции.

MODERN PHYSICAL METHODS IN THE PROCESSING OF AGRICULTURAL RAW MATERIALS

Nemenushchaya L.A.

FGBNU «Rosinformagrotech»

Technologies based on physical methods of processing agricultural raw materials, in particular ultrasonic processing, are considered. The analysis of domestic achievements in this area is given. The main directions of the application of ultrasonic methods promising for the agricultural sector are formulated. Technologies are proposed using ultrasonic methods, the introduction of which will ensure import substitution and increase the competitiveness of domestic agricultural products.

Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы предусмотрено создание и внедрение конкурентоспособных отечественных технологий переработки сельскохозяйственной продукции, за счет чего планируется снижение уровня импортозависимости и повышение продовольственной безопасности страны (ФНТП, эл. рес. 2018). Одним из способов решения поставленных задач является внедрение технологий, основанных на современных и инновационных физических методах.

В настоящее время к таким физическим методам для обработки сельскохозяйственного сырья, относятся технологии на основе ультразвуковой обработки. В таблице 1 обобщены и отобраны научно обоснованные профильными вузами и НИИ возможности использования ультразвука в технологиях обработки сельскохозяйственного сырья (Толочко и др., 2014; Данильчук, 2014; Бышова и др., 2013; Антипов и др., 2016; Попова, Потороко, 2016; Малинин и др., 2018; Родионова и др., 2018; Канина и др., 2019;

Погоржельская и др., 2019; Соковнин, 2019; Кувшинова, Репин, 2019; Демченко и др., 2016; Горяева и др., 2018; Яковлев, Яшонков, 2019; Нициевская и др., 2019; Романчиков, 2019).

Таблица 1. Технологии с использованием воздействия ультразвука для обработки сельскохозяйственного сырья

Название технологии и разработчик	Особенности технологии и конкурентные преимущества
Обработка свежесжатых соков, Университет ИТНО	Прибор серии «Волна» модель УЗТА-0,2/22-ОМ. Интенсивность обработки 75 Вт в течение 3 мин., до температуры в продукте 60°C. Позволяет в разы увеличить срок хранения продукта (апельсиновый сок в 2 раза), не происходит потери полезных свойств, эффективность пастеризации увеличивается во много раз.
Интенсификация процесса производства густого экстракта плодов расторопши пятнистой, Белгородский ГУ	Обработка измельченных плодов расторопши пятнистой ультразвуком на стадии намачивания с частотой 20 кГц в течение 5 минут. В 2 раза повышает выход флаволигганового комплекса. Экстракт содержит (87,39%, силибинина – 24,36%), обеспечивающий гепатопротекторное действие, флавоноиды (1,69%) и дигидрокверцетин (10,92%), проявляющие антиоксидантную активность.
Экстракция растительного сырья, Бийский ГУ (филиал) «Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова», Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова	Аппарат УТА-1000 с частотой воздействия 22 кГц. Оптимальные режимы УЗ воздействия для голубики и шиповника: мощность 80 Вт, продолжительность 5 мин, для душицы обыкновенной и шалфея лекарственного: мощность 60 Вт и продолжительность 3 мин. Позволяет увеличить общий выход экстрактивных веществ 6,2–15,8% по сравнению с контролем, интенсифицировать процесс экстракции в 3 раза. Полученные экстракты подходят для обогащения безалкогольных напитков компонентами растительного происхождения и улучшения ароматических, вкусовых и антимикробных свойств готовой продукции.
Технологии экстрагирования растительного сырья, НПП «Александра-Плюс»	Ультразвуковая обработка ускоряет процесс экстрагирования сырья в 2-4 раза. Сроки проведения экстрагирования сократились: для рябины - с 28 до 8 сут.; трав - с 12 до 6 сут.; кофе - с 10 до 3 сут.
Технология получения соков, Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова	Продолжительность 20-30 мин. Температура от -2 °С до +2 °С. Продолжительность 20-40 мин с последующей выдержкой на холоде в течение 2-3 суток. Получаемые соки более прозрачны, чем получаемые обычными способами. Сокоотдача винограда увеличивается с 66 % до 71% после первого прессования и с 74 % до 79 % после второго прессования. Интенсифицирует процесс выпадения винного камня. Это обеспечивает удаление необходимого количества винного камня.

Название технологии и разработчик	Особенности технологии и конкурентные преимущества
Технология изготовления кваса, Университет ИТМО, техникум пищевой промышленности, Санкт-Петербургский ГЭУ	Установка «Волна-М» УЗТА-1/22-ОМ, ультразвук 60 и 90 Вт. Микрофльтрация с применением дозируемого ультразвука. Стала возможна замена дорогостоящего оборудования, применяемого для варки колеровочного сахарного сиропа. Ускорение процесса получения квасов брожения в 2 раза, холодная стерилизация кваса с повышением его показателей качества.
Интенсификации процессов мембранного осветления яблочного сока прямого отжима, Мордовский ГУ им. Н.П. Огарёва	Ультразвуковая обработка частотой 22 кГц и интенсивностью излучения до 30 Вт/см ² . Рост скорости фильтрации пропорционален снижению вязкости, которое, в отличие от метода с использованием ферментации, достигается сразу после окончания ультразвуковой обработки.
Технология ультразвуковой обработки растительного сырья в производстве ликероводочных изделий, ВНИИПБ - филиал ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи	Двукратная ультразвуковая обработка в течение 0,5 ч и настаивание при температуре 35 °С. Один залив сырья. Сильное размалывание сырья, УЗ-обработка в течение 20 мин. с настаиванием 4 сут. Продолжительность 15 мин. интенсивность 40 Вт/см ³ и настаивание в течение суток. Четырехкратная УЗ обработка плодов красной рябины 12 суток. Для зверобоя увеличивает выход эфирного масла на 15% относительно контроля с сокращением длительности настаивания до одних суток. Экстракция семян бадьяна соответствует по цветности и выходу эфирных масел контролю. Экстракция семян укропа, трав мяты перечной и душицы обыкновенной. Позволяет получить морсы, идентичные контролю. Сроки настаивания сокращаются в 3-10 раз в зависимости от вида сырья.
Технология интенсификации разваривания пюре, Ставропольский ГАУ	Частота 22 кГц, интенсивность 1,0 Вт/см ² , температура 80–100°С, продолжительность 10–60 мин. Контрольный вариант опыта был разварен при стандартных условиях в автоклаве при 145°С в течение 60 минут, при t = 100°С, продолжительность 40–60 мин. Время прохождения разваренной массы уменьшилось в три раза по сравнению с контролем.
Стерилизация жидкостей, Великолукская ГСХА	Частота 30 кГц продолжительность 12 мин. Исключается нагрев до высоких температур, что обеспечивает сохранение вкусовых качеств, сбережение тепловой и электрической энергий.
Обработка отрубей пшеницы, Оренбургский ГУ	Частота 20–44 кГц, продолжительность от 30 до 240 с, температура 30–70°С на установке Hielsher UIP 1000 hdT. Позволяет разрушить стенки растительной клетки, снизить содержание клетчатки, устранить микробиологическую контаминацию пищевых волокон. Содержание водорастворимого белка возрастает на 0,4 мг/мл.
Обработка молока, Белорусский ГАТУ	Мощность до 150 Вт. Совместная ультразвуковая и тепловая обработка, повышение давления. Время обработки молока сокращается в два раза. Инактивация бактерий в молоке усиливается.

Название технологии и разработчик	Особенности технологии и конкурентные преимущества
Акустическая обработка низкой мощности мясного сырья, МГУПП	Обработка ультразвуком. Получение сочной и нежной консистенции, на 8 кПА снижается ПНС мяса индейки. На 18% по сравнению с контрольным образцом увеличивается выход готового продукта. Усиливает действие ферментов.
Эмульгирование молока ультразвуковой обработкой, Алтайский ГТУ	Температура 55-70 °С, обработка ультразвуком. Более 80% от общего числа жировых шариков размером менее 2 мкм. На треть повышается питательная ценность и одновременно происходит пастеризация молока.
Обработка сычужного фермента.	Обработка ультразвуком. Повышает активность порошка сычужного фермента на 1570 тыс. ед. Выход фермента на 35 % выше, чем в контрольной партии.
Обработка мяса, полученного из сухожильного мускула крупного рогатого скота.	Куски мяса погружаются в емкость с рассолом (5%) и происходит воздействие ультразвука; обработка производится при непосредственном контакте рабочего инструмента прибора с поверхностью куска мяса. Повышение нежности, путем частичного механического разрушения волокон мышечной и соединительной тканей. Исключается термическое воздействие, что улучшает вкусовые качества готового продукта.
Извлечение жира из мягкого сыра	Выход жира составляет 60-75%, выход костного жира - до 15%.
Технология предварительного посола рыбы, Керченский государственный морской ГУ	Частота 30 кГц; амплитуда колебаний 70, 10-60 м; длительность до 20 мин.; массовое соотношение рыбы и раствора NaCl 1:2. Показатели качества отвечают требованиям нормативно-технической документации. Интенсифицирует процесс посола на 28-42%. Сельди приобретают соленость 12-16%, продолжительность сокращается на 31-36%, чем при конвекционном посоле.
Обработка поверхностной микрофлоры мясных полуфабрикатов, Университет ИТМО	Отобран штамм бактерий рода <i>L. acidophilus</i> 7m13, проявивший лучшую антагонистическую активность. Мощность воздействия 350 Вт с экспозицией 2 мин. Не приводит к денатурационным изменениям белков мышечной ткани; применение ферментированной МС при обработке УЗ позволяет получить наименьшую поверхностную обсемененность.
Снижение бактериальной обсемененности молока, Рязанский ГАТУ	Продолжительность 5 мин. частота 20 кГц и выше, интенсивность выше 0,5 Вт/см. Снижение патогенной микрофлоры Кислотность не увеличивается в течение нескольких часов.
Стерилизация питьевой воды	Концентрации антисептиков и консервантов в сочетании с УЗ обработкой могут быть уменьшены в десятки и сотни раз.
Интенсификация процесса восстановления сухого молочного продукта, Южно-Уральский ГУ	Аппарат серии «Волна М» (модель УЗТА-04/22-ОМ), мощность 120 Вт, продолжительность 1...3 мин. Интенсификация процесса восстановления (индекс растворимости снижается в среднем на 37,5...75%); увеличение массовой доли белка (на 3,3...4,8%), массовой доли лактозы (на 0,9...6,5% в зависимости от условий ультразвуковой обработки).

Название технологии и разработчик	Особенности технологии и конкурентные преимущества
Технология высокочастотной акустической кавитации молока, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ВНИИМП	Частота 45 кГц, прибор погружного типа импульсного воздействия УЗО «Активатор-150». Количество бактерий группы кишечной палочки (БГКП) снизилось почти на 40%. Обработанное коровье молоко использовалось для производства рассольного сыра – брынзы. Возможно исключение операции «пастеризация» при производстве брынзы, выход опытного образца по сравнению с контрольным на 1,5–2,0% выше.

Как показал анализ данных таблицы 1, все отобранные технологии отличаются эффективными характеристиками, наиболее широко ультразвуковая обработка используется в технологиях интенсификации процессов экстракции, таких как разработанная в Алтайском ГТУ и обеспечивающая увеличить общий выход экстрактивных веществ до 15,8% по сравнению с контролем, интенсифицировать процесс экстракции в 3 раза, и уничтожения микроорганизмов, как высокочастотная акустическая кавитация молока, разработанная в РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева и ВНИИМП, позволяющая снизить количество бактерий группы кишечной палочки почти на 40%.

Реализуются представленные в таблице 1 ультразвуковые технологии с помощью различных устройств: чаще всего применяется прибор серии «Волна» модель УЗТА-0,2/22-ОМ; также эксплуатируются прибор погружного типа импульсного воздействия УЗО «Активатор-150»; установка Hielsher UIP 1000 hdT; аппарат МАГ-50; устройство для ультразвуковой обработки жидких сред УУЗОЖС-1; устройство для ультразвуковой магнитострикционной обработки муки УМОМ-1; аппарат УТА-1000. В качестве примера промышленного ультразвукового оборудования можно привести экстракторы, выпускаемые НПП «Александра плюс».

Многочисленными исследованиями отмечается положительное воздействие акустической обработки на семена (Исаев, 2019). Ультразвук интенсифицирует процессы мойки фруктов, отмывания частиц крахмала, изготовления шоколада; разделения жидких неоднородных систем,

сокоотделения, сушки. УЗ колебания обеспечивают более быстрое и глубокое, по сравнению с другими методами, понижение концентрации растворенного в жидкости газа. УЗ дегазация жидких сред применяется для выделения газов из молока, напитков, шоколада, растительного масла, крахмальных и желатиновых эмульсий и пр.

Все представленные технологии подтверждают положительное влияние акустической обработки, которая обеспечивает: интенсификацию процессов, улучшение качества продуктов, снижение энергозатрат. Для дальнейшего развития акустических технологий и их широкого применения в переработке сельскохозяйственного сырья требуется детальная характеристика протекания соответствующих процессов, разработка технологических регламентов для производства и внедрение эффективного промышленного оборудования.

Список литературы

1. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства [Электронный ресурс] URL: <https://www.fntr.ru/o-programme>. (дата обращения 25.04.2020).
2. Ультразвуковая обработка [Электронный ресурс] URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrotehnika/ultrazvuk/> (дата обращения 5.04.2020).
3. Толочко Н. К., Прокопьев Н. А., Челединов А. Н. Перспективы ультразвуковой обработки молока // Молочная промышленность. 2014. № 8. С. 8–30.
4. Данильчук Т. Н. Создание инновационных процессов биотрансформации пищевого сырья с применением низкоинтенсивного электроконтактного и акустического воздействия: диссертация ... доктора технических наук: 05.18.07 / Данильчук Татьяна Николаевна; [Место защиты: Всерос. науч.-исслед. ин-т пивовар., безалкогол. и винодел. пром-сти РАСХН]. М., 2014. 431 с.: ил.
5. Бышова Н. Г. Инновационная технология производства молока: Монография / Н. Г. Бышова, Г. М. Туников, Н. И. Морозова, Ф. А. Мусаев // Рязань: РГАТУ, 2013. 156 с.
6. Антипов С. Т. Инновационное развитие техники пищевых технологий / С. Т. Антипов, А. В. Журавлев, Д. А. Казарцев, А. Г. Мордасов и др. // Изд-во «Лань», 2016. 660 с.
7. Попова Н. В., Потороко И. Ю. Эффекты ультразвука в технологиях восстановленных продуктов переработки молока // Молочная сфера. 2016. № 2(57). С. 64–67.
8. Малинин А. В., Науменко Н. В., Потороко И. Ю. Инновационные подходы в изменении свойств пищевых ингредиентов // Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. Изд-во: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (г. Санкт-Петербург), 19-24 ноября 2018 г. - С. 40–42.
9. Родионова Н. С., Мануковская М. В., Серченя М. В. Влияние метода ультразвукового экстрагирования на формирование аромата экстракта из натурального сырья // Пищевая промышленность. 2018. № 3. С. 54–56.

10. Канина К. А., Красуля О. Н., Жижин Н. А., Семенова Е. С. Изучение влияния воздействия высокочастотной акустической кавитации на качество молока-сырья и молочных продуктов на его основе // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 3. С. 145–150.
11. Погоржельская Н. С., Абрамова И. М., Кудряшов В. Л. Ультразвуковая обработка растительного сырья в производстве ликероводочных изделий // Пищевая промышленность. 2019. № 10. С. 84–88.
12. Соковнин Е. Л. Разработка способа консервирования сыворотки, обработанной ультразвуком // Альманах научных работ молодых ученых XLVI научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. Том 1. С. 269–271.
13. Кувшинова О. А., Репин А. Д. Результаты осветления яблочного сока ультразвуком // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 2(31). С. 244–250.
14. Демченко В. А., Образцова А. С., Иванова М. А. Влияние ультразвукового воздействия на физико-химические показатели кваса // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 18–20.
15. Горяева Н. А., Каменская Е. П., Обрезкова М. В. Исследование процесса экстракции растительного сырья под действием ультразвука // Материалы VIII Региональной конференции студентов младших курсов Проблемы, перспективы биотехнологии и биологических исследований, Изд-во ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 2018. С. 79–82.
16. Яковлев О. В., Яшонков А. А. Применение ультразвука для интенсификации процесса посола рыбы // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования (г. Керчь, 15–17 мая 2019 г.) С. 540–543.
17. Нициевская К. Н., Мотовилов О. К., Мотовилов К. Я., Щербинин В. В. Исследование продукции из плодов рябины красной, полученной с применением энергии кавитации // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2019. Т. 8. № 2(46). С. 92–98.
18. Романчиков С. А. Технология изготовления хлеба с использованием электрической хлебопекарной печи ХПЭ-ИУЗ с ультразвуком в импульсном режиме // Пищевая промышленность. 2019. № 2. С. 44–48.
19. Исаев А. В. Применение ультразвука в сельском хозяйстве // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. 2019. № 13. С. 249–252.

MILLIMETER RADIATION AS A FACTOR INCREASING VIABILITY OF COLLECTION ACCESSIONS OF MEDICINAL PLANTS UNDER *EX SITU* CONSERVATION

Corlateanu Liudmila, Ganea Anatolie, Maslobrod Serghei
Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Moldova

These studies were conducted to investigate the influence of one of the essential physical factors i.e. millimeter radiation (MMR) on the processes of seed germination of medicinal plants under the conditions of *ex situ* conservation. Test objects included seeds of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and purple echinacea (*Echinacea purpurea* (L.) Moench). We studied the separate effect of MMR (wavelength of 5.6 mm; power density of 6.6 mW/cm²; exposures of 8 and 30 min) and combined effect of MMR and low temperature (LT) (2–4°C) on seeds after long-term storage in the plant gene bank. Factors were applied in direct (MMR+LT) and reverse (LT+MMR) combinations with the purpose to reveal protective and reparative effects of MMR on old seeds. This method is recommended for the increase of seed viability of medicinal plants.

One of the important tasks of plant gene banks includes conservation of the collection accessions of crop plants in *ex situ* collections. During the long-term storage, complex physiological and biochemical processes of aging occur in seeds resulting in decrease of viability, which in some cases leads to the loss of germinability. Therefore, it is vitally important to apply methods of exogenous influence on seeds after their long-term storage in order to stimulate germination. Laboratory of Plant Genetic Resources widely uses the advanced physicochemical methods to increase viability of seeds of various plant species. Special attention is paid to such physical factor as MMR that exerts regulating, informational effect on living object thus increasing its viability (Девятков, 1991). Our studies of many years revealed that MMR with the wavelengths of 4.9; 5.6 and 7.1 mm, power density of 6-10 mW/cm² and exposures of 2–30 min had stimulating effect on germination processes in seeds and seedlings that was proven by the assessed changes of their physiological and biochemical parameters. Experiments were conducted with the seeds of grain crops, cereals, pulses, vegetables and technical crops (Маслоброд, Корлэтяну, Ганя, 2009; Maslobrod, Korlatyanu, Ganya, 2010; Корлэтяну, 2012). Specificity of MMR influence on seeds includes the existence of onthogenetic “memory” of seeds with regard to the influence of this factor, that was demonstrated in tomato seeds: pre-sowing treatment of seeds with stimulating doses of MMR had a positive effect on plant productivity under field conditions (Корлэтяну,

Маслоброд, Ганя и др., 2010). If MMR is applied to seeds before they are exposed to unfavorable factor, their increased viability will be indicative of the protective effect (PE) on seeds. If MMR is applied to seeds after the influence of unfavourable factor, then it will be all about the reparative effect (RE) of MMR. It was demonstrated, in particular on tomato seeds, that MMR had positive effect on plant productivity in the field environment. In our experiments we demonstrated the PE and RE of MMR on the seeds of triticale, maize (Корлэтяну, 2012), tomato and cucumber (Корлэтяну, Маслоброд, Клещ и др., 2015) under the conditions of LT affecting the seeds, furthermore the same effects were revealed on maize and triticale seeds after their treatment with γ -radiation (Корлэтяну, Маслоброд, Ганя, 2009). These studies were conducted to investigate the influence of MMR and LT on the processes of seed germination of medicinal plants under the conditions of *ex situ* conservation with the aim to reveal the PE and RE of MMR on seeds. The purpose of the studies was to increase viability of seeds with the help of MMR after their long-term storage in plant gene bank.

Material and methods

Test objects were seeds of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and purple echinacea (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) after long-term storage. Imbibed (during 14 h) seeds were exposed to MMR with the wavelength of 5.6 mm, power density of 6.6 mW/cm² and exposures of 8 and 30 minutes. In addition, temperature factor was used as abiotic stress (seeds were placed for 5–6 hours in cold chamber with the temperature of 2-4 °C). MMR and LT were applied to seeds both separately and in combination. Factors were used in direct (MMR+LT) and reverse (LT+MMR) combinations. If MMR is applied to seeds before their exposure to unfavourable factor, their increased viability will be indicative of the PE on seeds. If MMR is applied to seeds after the influence of unfavorable factor, then it will be all about the RE effect of MMR. Seeds were sprouted in Petri dishes in thermostat at 25°C. The following parameters were measured: germinating power (GP) and germinability (G) of seeds, fresh and dry biomass of seedlings, radicle length (RL) (International rules for seed testing, 1984). The activity of peroxidase (PO) enzyme in radicles of the 4-day-old

seedlings (Ермаков, Арасимович, Ярош и др., 1987) was determined. In each variant, 100 seeds were used in quadruplicates. Data were processed using software package Statistica 7.

Results and discussion

In experiments with the seeds of *Carthamus tinctorius*, determination of GP and G of seeds showed significant stimulating effect of MMR. Absolute values of these parameters in the experiment were 1.37 and 1.20 times higher than control after 8 minutes of MMR exposure, and 1.50 and 1.26 times higher after 30 minutes of MMR exposure (Fig.1). Values of GP and G of safflower seeds were close to the control variant by the influence of LT on the seeds. Combined application of physical factors in direct and reverse combinations with determination of the same parameters allowed discovery of the protective effect of MMR. Increase in the variant with direct combination of factors (MMR 30 min+LT) compared to the variant with reverse combination of factors (LT+MMR 30 min) in GP and G of seeds was 1.38 and 1.22 times. Determination of RL in safflower seedlings showed significant increase in the variants with separate effect of MMR on seeds as compared to control (RL of seedlings was 1.35 times higher after 8 min of MMR exposure as compared to control, and 1.40 times higher after 30 min of MMR exposure). Values of RL in the variant with LT were at the level of control variant (Table 1). MMR had a distinct PE on radicle length of seedlings with both exposures: after 8 min of MMR exposure the values were 1.27 times higher than control, and after 30 min of MMR exposure the values were 1.28 times higher. After the 30 min exposure on the seeds, we observed distinct PE of MMR. RL of seedlings in this variant (MMR 30 min +LT) was higher th (by 5,5 mm). Biomass of seedlings also increased after treatment of seeds with MMR substantially in all test variants. Thus, under the influence of MMR (8 and 30 min) as compared to control variant, is increased by 1.10 times and 1.18 times, respectively.

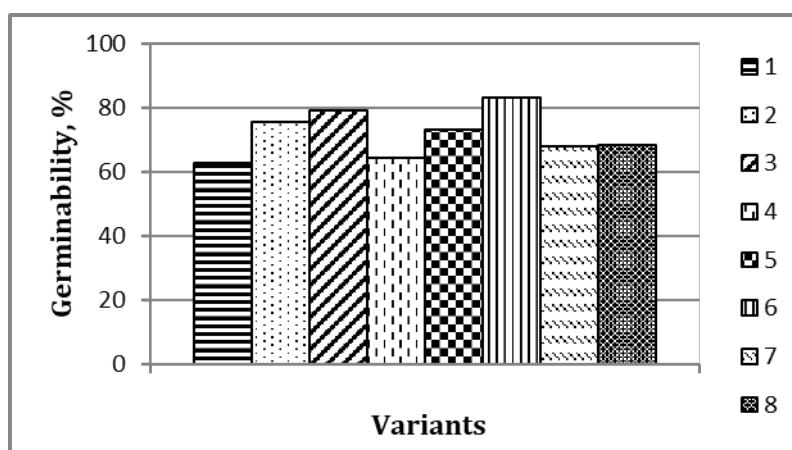


Fig. 1. Germinability of seeds of *Carthamus tinctorius* L. after the influence of physical factors on seeds: 1 – Control; 2 – MMR 8min; 3 – MMR 30min; 4 – LT; 5 – MMR 8min+LT; 6 – MMR 30min+LT; 7 – LT+MMR 8min; 8 – LT+MMR 30min

Table 1. Morphophysiological and biochemical parameters of seeds and seedlings of *Carthamus tinctorius* L.

Serial No	Variants	Radicle length, (mm)	Biomass (mg/per 10seedl.)	Peroxidase (PO) activity, c.u.
1	C	19.1 ±1.6	71.2 ±2.5	0.160
2	MMR 8min	25.8 ±1.4*	78.8±4.6*	0.258*
3	MMR 30min	26.8 ±1.3*	84.4±5.1*	0.350*
4	LT	17.0 ±1.5	68.0±1.6*	0.380*
5	MMR8min+LT	22.3 ±1.2*	75.4 ±6.3	0.365*
6	MMR30min+LT	24.4 ±1.4*	79.8±4.5*	0.290*
7	LT+MMR8min	20.2 ±1.5	70.1 ±3.0	0.310*
8	LT+MMR30min	18.9 ±1.3	72.0 ±2.8	0.210*

Notes: C – control; 8, 30 min – MMR exposures expressed in minutes; LT – low temperature; GP – germinating power; G – germinability; * – significant differences as compared to control, $p \leq 0.05$

Activity of PO enzyme in radicles of seedlings confirmed the patterns observed for morphophysiological parameters of seedlings. After 30 min of MMR exposure the enzyme activity was 2.20 times higher than in control variant. Both MMR exposures resulted in well-marked PE effect observed for PO enzyme activity (Table 1).

In the experiments with seeds of *Echinacea purpurea*, stimulating effect on such parameters as GP and G of seeds manifested mainly after 30-min treatment of seeds with MMR (Fig. 2). GP of seeds was higher by 5.8 % than control and G was higher by 7.5%. LT resulted in significant decrease of GP of seeds (by 7.4%). Determination

of G of seeds after 8 min of MMR exposure revealed reparative effect of MMR and after 30 min of MMR exposure the PE was observed. For biomass and RL 30 min exposure had stimulating effect and the increase over the control, which represented 1.54 times for dry biomass and 1.20 times for RL (Table 2). In most variants of combined effect of physical factors, MMR showed PE on these parameters. Analysis of PO enzyme content in radicles of *Echinacea purpurea* seedlings demonstrated that MMR exposure lasting 30 min again caused maximal stimulation under the separate effect of this factor (Table 2), but combined effect of factors showed RE effect of MMR after both exposures (8 and 30 min). PO enzyme content increased by 2.00 times in the variants with reverse (LT+MMR 8 min) and direct (MMR 8 min+LT) combination of factors and by 1.60 times in the variants with LT+MMR 30 min and MMR 30 min+LT. It is known that the process of plant adaptation to unfavorable environmental conditions including LT occurs with the active involvement of antioxidant system that controls the level of reactive oxygen species in cells (Радшк, Доманская, Щербаков и др. 2009). The same was observed in our experiments on the increase of PO activity under the influence of both MMR and LT on seeds. In general, the obtained data on PE and RE of MMR on seeds of medicinal plants affected by LT is consistent with the data on these effects on seeds of other plant species and genera that we obtained earlier. In addition to what has been said, it should be noted that our previous studies on the assessment of PE and RE of MMR by such parameters as seed GP, content of freely soluble proteins and IAA-oxidase activity didn't reveal any distinct advantage of any of these effects. Similar effects are caused by laser irradiation of seeds pre-treated with γ -radiation (Лазеры и наследственность, 1984). Since laser irradiation and MMR belong to the class of low intensity physical factors, it can be said that they have common mechanisms of action on living object (Бурлакова, Конрадов, Мальцева, 2004). As can be seen from the above, MMR can exert both PE and RE on seeds of medicinal plants, and if physical factors are properly combined, it is possible to increase the viability of collection accessions after their long-term storage in the plant gene bank.

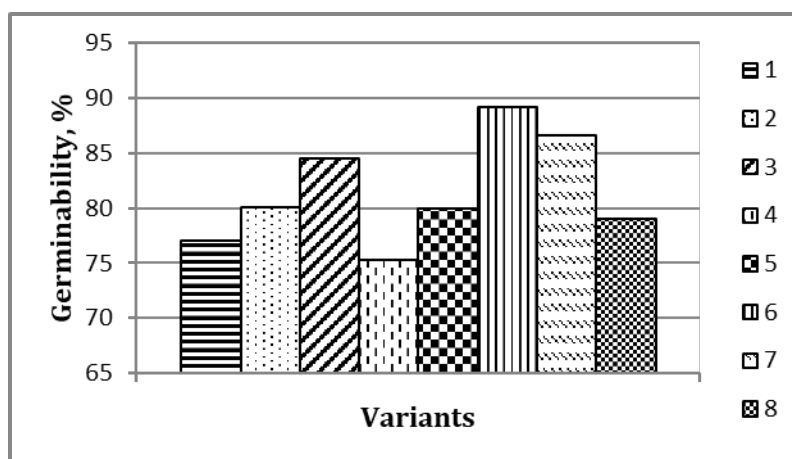


Fig. 2. Germinability of seeds of *Echinacea purpurea* (L.) Moench after the influence of physical factors on seeds: 1 – Control; 2 – MMR 8min; 3 – MMR 30min; 4 – LT; 5 – MMR 8min+LT; 6 – MMR 30min+LT; 7 – LT+MMR 8min; 8 – LT+MMR 30 min

Table 2. Morphophysiological and biochemical parameters of seeds and seedlings of *Echinacea purpurea* (L.) Moench

Serial No	Variants	Radicle length,mm	Biomass,(mg/per10seedl.)	Peroxidase activity, c.u.
1	C	7.4 ±0.8	2.40 ±0.34	0.540
2	MMR 8min	7.5 ±0.9	2.50 ±0.26	0.540
3	MMR 30min	8.9 ±0.4*	3.60±0.23*	0.680*
4	LT	6.9 ±0.7	2.70 ±0.19	0.920*
5	MMR8min+LT	7.9 ±0.8	3.30±0.32*	0.350
6	MMR30min+LT	8.8 ±0.4*	3.20±0.26*	0.620
7	LT+MMR 8min	7.7 ±0.6	2.50 ±0.21	0.700
8	LT+MMR30min	8.4 ±0.7*	2.50 ±0.18	1.000*

Notes: C – control; 8, 30 min – MMR exposures expressed in minutes; LT – low temperature; GP – germinating power; G – germinability; * – significant differences as compared to control, $p \leq 0.05$.

Conclusions

Influence of MMR on seeds of such medicinal plants as *Carthamus tinctorius* L. and *Echinacea purpurea* (L.) Moench after their long-term storage results in the increase of seed viability. Evaluation of stimulating effect by different morphophysiological and biochemical parameters showed that this effect is best manifested under MMR exposure lasting 30 minutes. MMR has both PE and RE on

seeds of medicinal plants being affected by LT. Both effects reflect the increase of seed viability with the help of MMR during the period when the seeds are affected by abiotic stress. Quantitatively, protective effect of MMR manifested better. Thus, by properly combining physical factors, we can significantly increase viability of seeds of medicinal plants under the conditions of *ex situ* conservation that is vitally important for the maintenance of plant gene pool.

References

1. Бурлакова Е.Б., Конрадов А.А., Мальцева Е.Л. Сверхслабые воздействия химических соединений и физических факторов на биологические системы // Биофизика. 2004. Т. 49. № 3. С. 551–564.
2. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь. 1991. 160с.
3. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Определение активности пероксидазы. Методы биохимического исследования растений. М., 1987. С. 42–43.
4. Корлэтяну Л., Маслоброд С., Ганя А. и др. О радиопротекторном действии миллиметрового излучения на семена кукурузы и тритикале. Мат. национ. конф. «Problemele actuale în Igiena Radiațiilor, Radioprotecție și Radiobiologie». Chișinău, 2009. С. 139–144.
5. Корлэтяну Л. Б., Маслоброд С. Н., Ганя А. И. и др. Влияние предпосевной обработки семян томата миллиметровым излучением на продуктивность растений в полевых условиях / Мат. II Межд. научно-практ. конф. «Современные тенденции в селекции и семеноводстве семенных культур. Традиции и перспективы». М., 2010. Т. 1. С. 340–346.
6. Корлэтяну Л. Б. Жизнеспособность семян культурных растений в условиях консервации *ex situ* при действии миллиметрового излучения. Кишинев, 2012. 156 с.
7. Корлэтяну Л., Маслоброд С., Клещ Ф. и др. Протекторное и репарационное действие миллиметрового излучения на семена огурца при их длительном хранении. Мат. XI Межд. Симп., Пушино, июнь 15–19, 2015 «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования». Москва, 2015. С. 317–321.
8. Лазеры и наследственность. Минск: Наука и техника. 1984. 171с.
9. Маслоброд С. Н., Корлэтяну Л. Б., Ганя А. И. Миллиметровое излучение – новый, экологически чистый и технологичный фактор повышения жизнеспособности растений. Мат. Conf. Intern. «Transfer de inovații în activitățile agricole în contextul schimbării climei și dezvoltării durabile», Chișinău, 2009. P. 242–259.
10. Радшк М., Доманская И., Щербаков Р. и др. Влияние низкой положительной температуры на содержание низкомолекулярных антиоксидантов в зеленых листьях ячменя // Физиология растений. 2009. Т. 56. № 2. С. 193–199.
11. International rules for seed testing. Москва: Колос. 1984. 310 с.
12. Maslobrod, S., Korlatyanu, L., Ganya, A. Influence of Millimetric Radiation on the Viability of Plants: Changing the Metabolism of Seeds at the factors. Influence on Dry Seeds // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2010. vol. 46(5). P. 477–488.

DEPENDENCE OF CHLOROPHYLL CONTENT IN LEAVES FROM LIGHT REGIME, ELECTROMAGNETIC FIELDS AND PLANT SPECIES

A. S. Kholmanskiy, N. V. Zaytseva

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Russia

The regularity of the distribution of chlorophylls content in a series of 30 cultivated plants and 75 steppe grasses was studied. The increased content of chlorophyll and magnesium in vegetables and grains compared with greens and steppe grasses is associated with more complex genetics of metabolism, which has stages of flowering and fruiting. The chlorophyll content increases with the use of LED phytoirradiators with an emission band coinciding with the first absorption band of chlorophyll. Industrial electromagnetic fields can affect the biosynthesis of pigments in deciduous trees, but cultivated herbaceous plants are not sensitive to them.

The productivity of photosynthesis of green plants is determined mainly by their genetics and strongly depends on temperature, nutrient medium and light regime (Polevoj, 1989; Andrianova, Tarchevskij, 2000). These factors determine the structure and efficiency of the photosynthetic apparatus of the plant (PSA). The key functional elements of PSA are **a** and **b** forms of the chlorophyll (Chl) and water, which sensitizes PSA by forming complexes with Mg and other molecules in the composition of PSA (Senge et al., 2014; Kholmanskiy et al., 2018). The photo- and thermophysics of Chl substantially depend on the Mg ion in the center of porphyrin cycle and the electronic nature of substituents in it (Senge et al. 2014; Kholmanskiy et al., 2018). In principle, chlorophyll can play the role of a marker of the total Mg content in a plant and therefore can be considered an adequate characteristic of the nutritional value of a plant product.

A significant difference in the biophysics of chlorophyll Chl **a** and Chl **b** (Tyutereva and Ivanova, 2014) is caused by the replacement of the CH₃ group by the electron-acceptor and proton donor groups of CHO in the 7th position of pheofetin. In (Frese et al., 2003; Kholmanskiy et al., 2018), the electronic nature of the ground and lower excited states of Chl was attributed to states with charge transfers whose dipoles are oriented along the mutually orthogonal *X* and *Y* axes of the Chl molecule. The high dipole moments of the excited states of Chls initiate electron and proton transfers from other PSA components and these reactions can accelerate the kinetics of photochemical reactions in PSA. It was suggested in (Kholmanskiy et al., 2019b) that micropolarization of PSA promotes proton diffusion in leaves and intensifies the extraction of micro and macrocell ions by a plant. Mg and Chl greatly increase the

nutritional and medicinal value of cultivated plants, both leafy and fruit-bearing. In (Kholmanskiy et al., 2019a; 2019b) it was established that the efficiency of Mg extraction by plant leaves of cultivated plants depends on their species and responds to changes in the irradiation spectrum. It can be assumed that a similar dependence should be observed for the content of Chl in plant leaves.

To deepen understanding of the biophysical relationship between plant productivity and Chl we compared the total content of **a+b** Chl and Mg in raw samples of leaves of a number of cultivated plants and steppe grasses. We analyzed the dependence of the Chl content in the leaves of cultivated plants on the light regime, and also compared the effects on photosynthesis of Chl **a** and Chl **b** in plantain and wheat seedlings of an electromagnetic industrial (Novichkova and Podkovkin, 2003; Shashurin, 2014) and an electrostatic vortex field (Therapeutic reel Mishina).

The empirical data on the content of chlorophylls **a** and **b** in cultivated plants and grasses were taken from books and works published by us and other authors. Table 1 shows the total content of Chl **a+b** (hereinafter [Chl]) and the ratio **a/b** for raw samples of plant leaves. The determination of [Chl] in the works was carried out according to the methods described in (Lichtenthaler and Buschmann, 2001). In (Bohn et al, 2014) [Chl] was determined using liquid chromatography, and the Mg content in Chl was calculated based on its mass fraction of ~2.7% in **a** and **b** Chl. In this work, we compared the concentrations of total Mg and Mg in the composition of Chl (Table 2).

A large scatter of [Chl] values in different works is caused by differences in both their measurement methods and the growing conditions of the same plants. The [Chl] values determined for dry samples were recalculated for the wet state using a drying coefficient (k). It was evaluated by determining the weight of a fresh sample and after drying it at a temperature of no higher than 40 °C. For vegetable crops (tomato, cucumber), leaf (lettuce, greens) and steppe grasses their k were: 8.5; 15-20 and 6-7, respectively. At the same time, the proportion of water in raw samples was determined by the ratio $(k - 1)/k$ and was equal to: 88%; 93-96% and 85-86%, respectively.

Table 1. The content of chlorophyll a and b in the leaves of different plants

Sample	Time growth – week (w); irradiation conditions – Mercury Lamp (ML); Sodium Lamp (SL); LED; Sun		Chlorophyll (mg/g)		Ref.	
			a+b	a/b		
Tomato	5 varieties		1.2	2.7	(Kavtsevich, 2015)	
	SL		1.4	1.3	(Smirnov and Kholmanskiy, 2017)	
	LED1		1.7	1.1		
	Sun		1.8	1.5		
Eggplant	Extract in acetone		1.7	-	(Mezhunts, 2009)	
			1.8			
			1.8			
Cucumber	ML→ 2ML		1.6→0.9	3	(Dalke et al., 2014)	
	SL		0.8	1.7	(Smirnov, 2018)	
	LED1		1.2	1.6		
	LED2		1.5	1.4		
Wheat	1 w		1.1	2.6	(Liu et al., 2010)	
	2 w		0.9	3.7		
	3 w		1.5	3.7		
Oats	Sun		0.9	-	(Petukhov, 2017)	
Barley			3.5		Kushnareva and Perekrestova, 2015)	
Peas			2.4			
Strawberry	LED		2.1	-	(Yakovtseva, 2015)	
	ML		1.6			
Mean			1.6±0.8	2.2±0.8		
Lettuce	Afitson	ML	3 w	0.4	4.6	(Dalke et al., 2013)
			5 w	0.35	3.8	
	Antony	SL, LED1, LED2	5 w	0.7	2	(Smirnov, 2018)
	Grand Rapids	LED (Rt+FRt)	2÷3 w	1.3	-	(Brazaitytė, 2006)
			4 w	0.5		
		LED (Bl+Rt+FRt)	2÷4 w	0.8		
	Prickly lettuce	-		0.39	3.4	(Bohn et al., 2004)
	Lettuce		0.24	4.3		
	Spinach		0.79	2.5		
	Rocket salad		0.41	3.6		
Parsley	0.63		3.1			
Cress	0.31		2.6			
	1.4					
Dill, parsley, cilantro, celery	ML, SL		1.8÷ 2	-	(Dalke et al., 2013)	
Basil, arugula		1÷1.3				
Mean			1±0.5	3.3±0.7		
Steppe plants, 67 species	Sun		0.85	1.8÷2.8	(Ivanov, 2013 [10])	
Coltsfoot, red clover, mouse peas			0.9	1.5÷1.6	(Petukhov, 2017)	
Chamomile, meadow bluegrass			0.8			
Tutsan			1.4	1.8÷2.5	(Report, 2011)	
Motherwort			1.9			
Echinacea			1.1			
Mean			0.9±0.5	2±0.5		

The Table 1 shows [Chl] values for plants growing in natural and greenhouse conditions. In the latter case, the age of the samples (weeks) and the light regimes were varied. The irradiators included various combinations of blue (Bl), green (Gr), red (Rt)

light emitting diodes (LED1 and LED2) (Kholmanskiy et al., 2019b) and 400 W high pressure sodium (SL) and mercury (ML) lamp. In some works, the LED composition included a diode emitting in the far-red region of the spectrum (FRt) with a maximum at 730 nm.

Table 2. The magnesium content in the raw leaf, fruit and chlorophyll

Sample (raw)		Mg	[Chl]	[Mg-	Mg/[Mg-Chl]
		mg/g		µg/g	
Lettuce	Leave	0.14	0.7	20	7
Tomato		1.1	1.5	40	28
Cucumber		1.1	1.2	32	34
	Fruit	0.2	0.04 (Bohn, 2014)	1	200

Plant species in Table 1 are divided into three groups: vegetables, cereals, berries (I); lettuce and greens (II); grasses (III). The mean values of [Chl] in the II and III groups are close and 1.6 times less than in the I group. At the same time, [Chl-**b**] in the I-st III-th is 2 times less than [Chl-**a**], and in the II-th one 3.3 times. The value of [Chl] in the first and second groups of plants reaches a maximum at 3 weeks of growth and depends on the spectral composition and intensity of irradiation. The Chl content decreases when the irradiation intensity is exceeded by the norms of the optimal light regime (Dalke et al., 2014). Moreover, the Chl photodestruction reaction can contribute to the negative effect (Kholmanskiy et al., 2018). The efficiencies of Chl biosynthesis in the leaves of plants of group I are close when the plants are irradiated with LED irradiators and the sun and are higher than when irradiated with SL. This result can be explained by the good overlap of the Rt emission bands of LED1 and LED2 with the first absorption band of Chl **a** and **b** (Kholmanskiy et al., 2019a). In group II, the dependence of the efficiency of Chl biosynthesis on the irradiation spectrum is less pronounced.

Chl biosynthesis is limited by the efficiency of the plant's extraction of the Mg, which depends on the type of plant and the irradiation spectrum (Kholmanskiy et al., 2019b). Table 2 shows the total content of Mg, Chl, and Mg in Chl ([Mg-Chl]) in the leaves and fruits of plants of the first and second groups, for samples grown under irradiation ML. From these values, the concentration ratio of total Mg to Mg in the composition of Chl (Mg/[Mg-Chl]) was calculated.

The obtained relations $Mg/[Mg-Chl]$ indicate that the total Mg content in plants significantly exceeds [Chl], and this disproportion in plants of the 1st group is 4-5 times greater than in plants of the 2nd group. This is due to the fact that Mg is included in the active center of the enzyme, providing assimilation of CO_2 (Polevoj, 1989) and also participates in the activation of many other complexes (Senge et al., 2014; Shkol'nik, 1974; Sukovataya et al., 2008). In addition, the genetics of cucumber and tomato, unlike lettuce, includes programs for the stages of flowering and fruiting with their specific biochemistry and bioenergy (Shkol'nik, 1974; Tikhomirov, 2000).

A significant contribution to the intensification of photosynthesis and enzymatic reactions in animal and plant organisms is made by the magnetic isotope ^{25}Mg (Buchachenko, 2014) the content of which in natural magnesium is 10%. Apparently, ^{25}Mg in the composition of enzymes plays an important role in the functioning of the phytochrome and cryptochromic PSA systems, activating magnetically sensitive dark reactions of radical ion pairs (Evans et al., 2013). Chl charge transfer states in dark reactions relax with the formation of long-lived excitons (Frese et al., 2003). Their participation in the work of PSA can, in principle, determine the dependence of the efficiency of photosynthesis on external electromagnetic and electric fields. To verify this assumption, we compared the dependence of the content of pigments – Chl **a**, Chl **b** and carotenoids (**k**) in maple leaves growing at a distance of 0 to 1000 m (control) from 110 kV power lines (Novichkova and Podkovkin, 2003) and in the leaves of plantain seedlings, grown in an electromagnetic field (EMF) with a frequency of 50 Gz and different intensities (Shashurin et al., 2014), as well as wheat seedlings growing in an electrostatic vortex field with a frequency of 300 kGz (Therapeutic reel Mishina). Recent experiments were carried out by us, using similar methods (Kholmanskiy et al., 2018; Kholmanskiy et al., 2019b). The results and experimental conditions are shown in Table 3. The errors in measuring the pigment content in all samples were about 10%.

From the data of Table 3 it follows that the influence of EMF affects the efficiency of pigment biosynthesis only in a tree. The reason for this may be the elongation of transport communications along which charged mineral elements move from bottom to top, and phytohormones from top to bottom. The electrophysical

properties of the sap in the layers of cambium and sapwood of deciduous trees, in contrast to the resin of conifers, contribute to electrotropism (Kholmanskiy, 2009).

Table 3. Effect of electromagnetic fields on pigment photosynthesis

Sample (raw)	Conditions of options. Control conditions.	Chlorophyll and carotenoids (mg/g)					
		Options			Control		
		a+b	a/b	k	a+b	a/b	k
Wheat	Whirlwind electric field. Contr. – without	1.32	3	0.22	1.31	3	0.23
Plantain	EM field 50 Gz (E=230-1800 V/m; B=350-2000 nTs). Contr. (E=12 V/m; B=50 nTs)	0.81	1.7	0.66	0.84	1.6	0.62
Maple	EM field power lines at 0-230 m. Contr. – at 1000 m	0.62	2.6	0.14	0.45	2.5	0.1

Thus, it was found that the content of chlorophyll and magnesium in the leaves of cultivated plants is significantly higher in fruitful species than in leafy and, especially in steppe grasses. The chlorophyll content increases when growing plants in light regime using LED irradiators having a radiation band that overlaps well with the first absorption band of chlorophyll **a** and **b**. Differences in the content of chlorophyll and plant productivity are associated with a more complex genetic program of metabolism in higher cultivated plants, including the stages of flowering and fruiting.

References

1. Aksenov, S.I. (2004) Water and Its Role in the Regulation of Biological Processes. (Izd. RKhD 212 p.
2. Andrianova, Ju. E., Tarchevskij, I. A. (2000) Chlorophyll and plant productivity. Moscow: Nauka, 135 p.
3. Bohn, T., et al. (2004) Chlorophyll-bound Magnesium in Commonly Consumed Vegetables and Fruits: Relevance to Magnesium Nutrition. *J. Food Sci.* 69(9) 347-350.
4. Brazaitytė, A., et al. (2006) Optimization of Lighting Spectrum for Photosynthetic System and Productivity of Lettuce by Using Light-emitting Diodes. *Proc. Vth IS on Artificial Lighting*, Ed. R. Moe, Acta Hort. 711,
5. Buchachenko, A. L. (2014) Magnetically dependent molecular and chemical processes in biochemistry, genetics and medicine. *Russ. Chem. Rev.* 83 (1), 1–12.
6. Dalke, I.V. et al. (2013) Efficiency of the use of light energy and productivity of the greenhouse culture of leaf lettuce. *Proceed. TSHA.* 5. 60–68.
7. Dalke, I.V. et al. (2014) Photosynthetic productivity and the efficiency of the use of light energy in the greenhouse culture of a cucumber when exposed to light inside the conenoses. *Ibid*, 5.13.
8. Evans E.W., et al. (2013) Magnetic field effects in flavoproteins and related systems // *Interface Focus.* 3(5) <http://d2gme0e5d9kd75.cloudfront.net/content/3/5/20130037>
9. Frese, R. N. et al. (2003) Electric Field Effects on the Chlorophylls, Pheophytins, and β -Carotenes in the Reaction Center of Photosystem II, *Biochemistry* 42, 9205-13.
10. Ivanov, L. A. et al. (2013) Changes in the chlorophyll and carotenoid contents in the leaves of steppe plants along a latitudinal gradient in South Ural. *Rus. J. Plant Physiology*, 60(6) 812–820.

11. Kavtsevich, V.N., Derevinsky, A.V. (2015) Characterization of the pigment fund of the leaves of the lines of the tomato brush morphotype. West. Vitebsk State University. 1.56-61.
12. Kholmanskiy, A.S. (2009) Adaptation of plants to abnormal physical factors. Electron. Math. Med.-Biol. J. 8(3) <http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N-23-html/holmanskiy/holmanskiy.htm>
16. Kholmanskiy, A.S., Smirnov, A.A., Parmon, V.N. (2018) Bleaching of solutions of chlorophylls *a* and *b* with blue and red light. High Energy Chem, 52(1) 6-13
17. Kholmanskiy, A.S. et al., (2019a) Dependence of extraction by cultural plants micro and macroelements from spectrum of phytoirradiators. Agrophysics. 1. 52.
18. Kholmanskiy A., et al., (2019b) Modeling of extraction mechanism of mineral elements by plants. Current Plant Biology. V. 19, 100104; <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.100104>.
19. Kushnareva, O. P., Perekrestova, E. N. (2015) The effect of various concentrations of copper and lead salts on the chlorophyll content and carbon content in plant leaves. Bul. Orenburg SU.10 (185) 194-7
20. Liu. D., et al., (2010) Influence of mercury on chlorophyll content in winter wheat and mercury bioaccumulation. Plant Soil Environ., 56 (3): 139–143.
21. Lichtenthaler, H.K., Buschmann, C. (2001) Current Protocols in Food Analytical Chemistry. F4.3.1-F4.3.8.
22. Mezhunts, M. (2009) Application of dimethylsulfoxide as a solvent of photosynthetic pigments in field investigations. Bull. State Agrarian Univ. Armenia.
23. Novichkova, E.A., Podkovkin, V.G. (2007) The effect of electromagnetic field of power lines 110 kV to morphometric indicators and concentration of photosynthetic pigments in maple ash-leaved *Acer negundo* L. Vestn. SamSU - Natural Science Series. 8 (58). 173-180.
24. Petukhov, A.S. et al., (2017) Assessment of the content of photosynthetic pigments in plants of different species under conditions of anthropogenic stress. Int. Student Sci. Bul. 6.
25. Polevoj, V. V. Fiziologija rastenij. Moscow: Vysshaja shkola, 1989. 464
26. Report. "Gorno-Altai Botanical Garden". (2011) Central Siberian Botanical garden SB RAS.
27. Shashurin, M.M. et al, (2014) Response of medium plantain to the action of an electromagnetic field of industrial frequency (50 Hz) Plant Physiology, 61 (4) 517–21
28. Senge, M. O. et al., (2014) Chlorophylls, Symmetry, Chirality, and Photosynthesis. Symmetry. 6(3), 781-843.
29. Shkol'nik, M. Ja. (1974). Trace elements in plant life] Leningrad: Nauka, 32 p.
30. Smirnov, A.A., Kholmanskiy, A.C. (2017) Dependence of photosynthesis of pigments and productivity of tomato from the spectral composition of the radiator. Scientific Life. 10. 14-19.
31. Smirnov, A., et al., (2018) Optimization of Lighting Spectrum of Greenhouse Vegetables by Using Light-Emitting Diodes. Int. J. Research in Pharmacy and Biosciences. 5(4) 11-17
32. Sukovataya, I.E. et al. (2008) Photobiophysics. Krasnoyarsk. SFU..438.
33. Therapeutic reel Mishina: reviews and description URL: <https://ilovevaquero.com/zdorove/114459-lechebnaya-katushka-mishina-otzyvy-i-opisanie.html>
34. Tikhomirov, A.A., Sharupich, V.P. (2000) Light culture of plants: biophysical and biotechnological foundations. Novosibirsk. 213.
35. Tyutereva, E.V., Ivanova. A.N., Wojciechowska. O.V. (2014) On the role of chlorophyll b in ontogenetic adaptations of plants // Successes in modern biology. 134(3) 249-256.
36. Yakovtseva, M.N., Govorova, G.F., Tarakanov, I.G. (2015) Photomorphogenetic regulation of the growth and development of garden strawberries (*Fragaria xananassa* Duch.) in light culture. Proceed. TSHA, 3.

BIOCHEMICAL CHANGES TRIGGERED BY THE VIRUS INFECTION IN TOMATO SOMACLONES DERIVED FROM DIFFERENT HISTOPATHOSYSTEMS

Marii Liliana, Smerea Svetlana, Andronic Larisa
*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Republic of Moldova,
Chisinau, Padurii 20 str. MD 2002*

Анализ защитных реакций регенерантов 3 генотипов томатов с разной восприимчивостью к вирусной инфекции, полученные от разных цитопатосистем, выявил специфический ответ, по показателям POX и PPO при заражении ВТМ или ВАТ по сравнению с здоровыми или инфицированными родительскими формами, в зависимости от генотипа, типа экспланта (незрелые зародыши или листья вирусинфицированных или здоровых растений), поколения SC₁/SC₂ или типа взаимодействия генотипа хозяина и вируса.

Introduction

Strategies aimed at controlling and inducing the resistance of crop plants to viruses are based on natural resistance or genetic engineering. Plants obtained under different cytopathic systems through biotechnological processes can serve as important sources for obtaining and selecting genotypes with valuable properties, including increased defensive reactions against viral agents. Multiple studies suggest about increasing the adaptation response in the offspring of plants affected by pathogens (Boyko, Kovalchuk, 2011). Defensive enzymes, such as peroxidase and polyphenol oxidase, are attributed to plant's response to stress (Almagro et al., 2009).

The present study represents the evaluation of peroxidase and polyphenol oxidase activity indices in the offspring of tomato somaclones (SC₁ and SC₂), generated by callus cultures from leaf explants and immature embryos taken from healthy plants and infected with viruses (Tomato Aspermy Virus, TAV and Tobacco Mosaic Virus, TMV) of 3 tomato genotypes with different reactivity to viral infection.

Materials and methods

In order to highlight the reactivity of plants to viral infection, the study included somaclones from different histopathosystems origin of 3 tomato genotypes: Elvira variety (sensitive); Craigella genotype (Tm-2²/Tm-2²) with TMV resistance genes; spontaneous tolerant species *Solanum pimpinellifolium* L. (SP). Primary somaclones SC₀ were obtained *in vitro* by callus culture from immature embryos (IE) and leaf explants, taken from healthy or infected with TMV or TAV plants. By self-pollination

of SC₀ acclimatized plants to *ex vitro* conditions, SC₁ and SC₂ (first and second generation) succeeded. In first and / or second generations, 7 of the 9 analyzed somaclones, having different histopathic origin were subjected to reinfection with virus similar to the donor plant, and two somaclones were infected primarily. Thus, the somaclone SC/1 obtained from leaf explants of cv. Elvira healthy plants was infected in the first generation with TAV, and in the case of somaclone SC/37 obtained from immature embryos of healthy plants Craigella TM₂, part of the SC₁ and SC₂ descendants were infected with TAV and the other with TMV, respectively. Plants of healthy parental forms (control) and those infected with TMV or TAV represented the two control groups. The evaluation 28 variants covering 11 histopathosystems in first and / or second generations of the analyzed somaclones.

Five plants were labeled from each variant. At the same stage after inoculation, leaves were collected for protein isolation and determination of acid peroxidase (POX) and polyphenol oxidase (PPO) activities (Ермаков и др., 1987) with the spectrophotometer, based on the dynamic change of the optical density of the extract solution. The presence of viral particles in the plants of the experimental group was confirmed by the negative contrast procedure using electron microscopy (Hitchborn, Hills, 1965). The histochemical reaction to the presence of the α -tomatine glycoalkaloid in the leaf petiole was assessed using Dragendorff reagent in semi-fine sections. Statistical data processing was performed using the Statgraphics Plus 5 program.

Results and discussions

Regenerants obtained from various histopathic systems by biotechnological processes can serve as important sources for obtaining and selecting genotypes with valuable properties, including increased defensive potential to viral agents. The rate of obtained and acclimatized regenerants derived from leaf histogens and / or immature embryos from plants of 3 tomato genotypes within 3 variants - healthy, infected with TAV or TMV varied depending on the genotype-cytopathic system combination (Table).

Table. Obtaining of *in vitro* regenerants and *ex vitro* acclimatization according to genotype, viral infection and explant type (no. of obtained / acclimatized regenerants, including the code of somaclones selected for evaluation)

variants	Craigella TM ₂				<i>S. pimpinellifolium</i>				Elvira	
	Leaf		IE		Leaf		IE	Leaf		
	No.	Code	No.	Code	No.	Code	No.	No.	Code	
Control	0/0		8/7	SC/37	58/41		67/57	13/7	SC/1	
TMV	30/21	SC/41	-	-	147/105	SC/54	-	31/21	SC/2	
TAV	1/1	SC/38	-	-	35/19	SC/52	36/29	76/76	SC/17 SC/99	

The analysis of acclimatized regenerants allowed the highlighting of a wide spectrum of somaclonal variability according to the morphological parameters, including ones of agronomic interest. The performed evaluations targeted the only somaclones that were tested negatively for the presence of viral particles and showed differences from the initial forms in terms of valuable traits. For these somaclones, analyzes were performed in order to assess the defensive reactions to viral infections. Most often, in similar papers, somaclones are evaluated by the degree of response to recurrent infection and attestation of the presence of viral particles until and after inoculation (Hanus-Fajerska et al., 2000, Shcherbatenko, Oleshchenko, 2006) and only occasionally other indicators of reactivity such as biochemical markers (Cogălniceanu et al., 2010) are attested. Thus, the analysis of POX and PPO activities in the descendants of somaclones derived from different tissues (leaf and immature embryos) established a series of peculiarities depending on genotype, type of interaction with viral infections, but at the same time some similar trends depending on the origin of explants - healthy or infected plants, or on the contrary, deviations compared to healthy or primarily infected variants.

More frequently, the differences for POX and PPO activities between somaclonal variants subjected to (re)-infection compared to the healthy parental forms – control (i), the infected parental forms (ii), as well as between the SC₁ and SC₂ generations (iii) or different explant origin for SC (iv) of both TAV and TMV infection were established for the TM₂ genotype. Thus, we find that, for somaclone SC/37, derived from healthy plants, in case of TAV infection (compatible interaction), the

POX index increases statistically significantly in SC₂/37 compared to SC₁/37, as well as in relation to the healthy parental form (i) and TAV infected ones (ii), and in case of the same somaclone infected with TMV (incompatible interaction), there are no differences (Fig. 1A). A different trend for POX is attested in the case of somaclones descending from infected plants. Thus, in the case of the incompatible interaction (SC/41) there are multiple differences between variants, and only one case for the compatible interaction – SC₂/38 (Fig. 1A).

The values of the POX in the somaclonal variants of the Elvira genotype, in case of TAV or TMV infection were statistically different mainly compared to healthy control plants (C), or between SC₁–SC₂ generations when TMV infection was applied in somaclone SC₂ (Fig. 1C).

The comparative analysis of the POX of the somaclones of the spontaneous specie *S. pimpinellifolium* for the plants reinfected with TMV and the healthy ones of the same variant SC₂/54 established statistically significant differences between them (Fig. 1E). Also, in the case of reinfection (SC₂/54 ”+”) an increase of 2.78 times the POX compared to the healthy ones (SC₂/54 ”-”) and 1.78 times higher compared to the infected parental form was attested. At the same time, the second generation of descending somaclone from the infected explant (SC₂/54”-”) indicated the same POX values as the healthy parent.

Similarly, as for POX, the PPO indices values showed multiple differences for the analyzed somaclones in case of infection of plants with TAV or TMV, but the number of confirmed cases with statistical deviations of the mean values was much higher for PPO (Fig. 1B, D, F).

A specific moment was attested in the case of somaclones of Craigella TM₂ genotype. So, TAV usually contributed to the significant increase of PPO indices in the case of compatible interactions regardless of plant origin and history of interaction with TAV, but in variants infected with TMV (incompatible), all variants of somaclones indicated lower values compared to the healthy and the infected control.

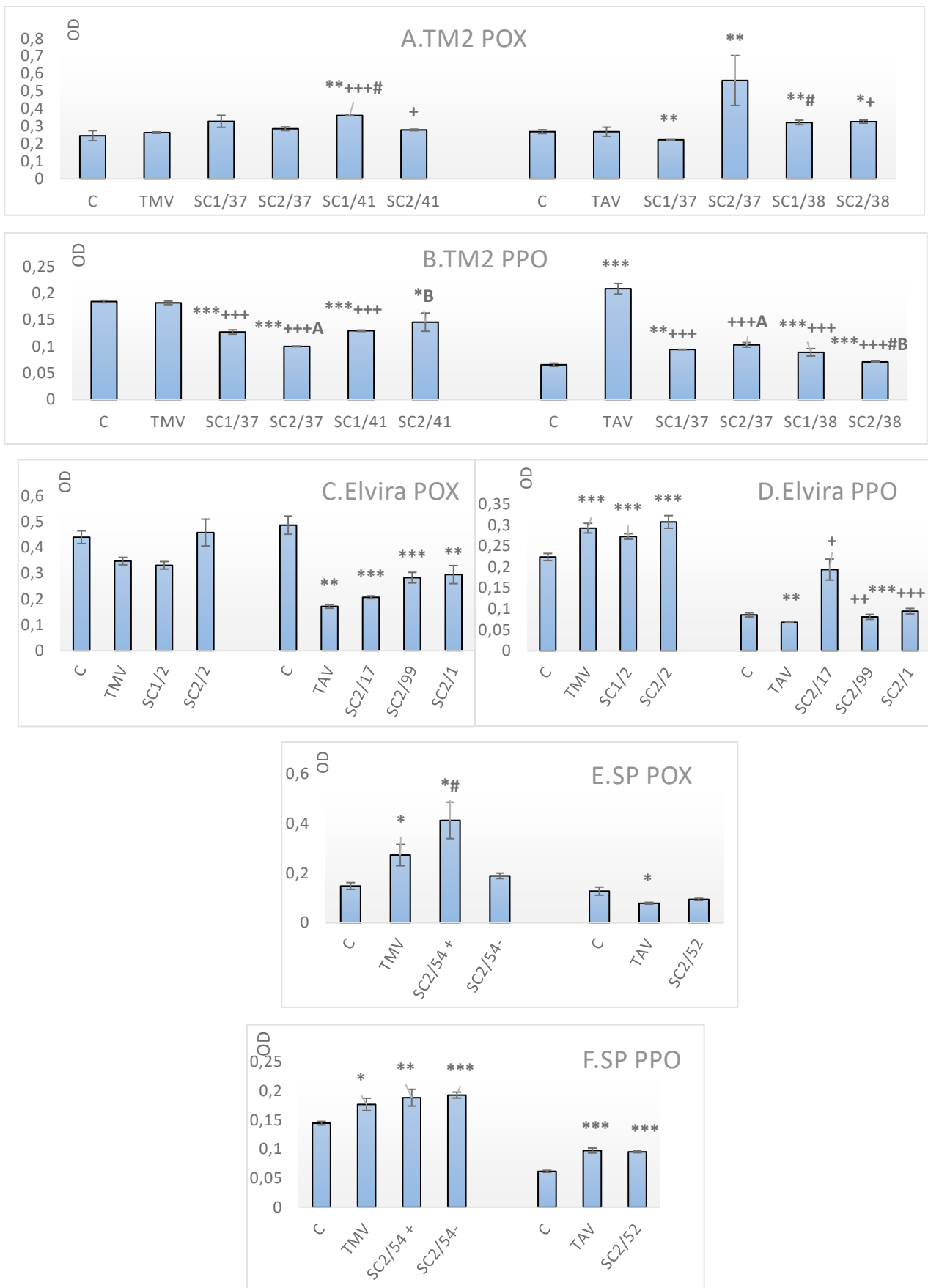


Figure 1. Indices of POX and PPO activity in somaclonal variants infected/reinfected with TMV, TAV and control variants (OD optical density, $X \pm S_x$).

*, **, *** significant for $P \leq 0.05$, 0.01 and 0.001, respectively: ”*” – compared to control C healthy plants; ”+” – compared to the parental form infected with TAV or TMV; ”#” – SC₁ versus SC₂; A, B - between somaclones of the same genotype.

TM₂: SC/37 IE, health +TAV; SC/37 IE, health +TMV; SC/38 leaf, TAV+TAV; SC/41 leaf, TMV+TMV; SP: SC/52 leaf, TAV+TAV; SC/54”+, leaf, TMV+TMV; SC/54”-, leaf, TMV- not reinfected; Elvira: SC/1 leaf, health +TAV; SC/17 leaf, TAV+TAV; SC/99 leaf, TAV+TAV; SC/2 leaf, TMV+TMV.

At the same time, according to the PPO, statistical differences were established between somaclones of different histogenic origin SC₂/37 (immature embryos) – SC₂/38 (leaf), for TAV and SC₂/37 (immature embryos) – SC₂/41 (leaf) for TMV. For the POX, the differentiated response according to the type of explant was attested only in case of incompatible interaction (TMV), the somaclone from leaf showed multiple differences between variants, while the somaclone from immature embryos did not show any differences between variants.

The study shows a significant increase in PPO compared to the healthy and / or infected parental form for the somaclones of the Elvira and *S. pimpinellifolium* genotypes in both TAV and TMV infections.

Following the above, we can see a specific spectrum of variability of POX or PPO indices between somaclones of the same genotype, with particularities depending on the different origin of the explant or the phytosanitary status (infected or healthy plants), but also between different generations (SC₁–SC₂) of the same somaclone. At the same time, unique trends of somaclone reactivity were established in the case of PPO activity depending on the type of interaction - compatible or incompatible.

α -Tomatine. Glycoalkaloids, of which α -tomatine belongs, show antibacterial and antiviral actions, and the content varies depending on the genotype and the organ of the plant, with the highest amount in the leaves (Silva-Beltrán et al., 2015). Microscopic analysis of the leaf petiole cross-sections found that, when infecting plants with TMV, the sensitive genotype Elvira and the tolerant form *S. pimpinellifolium*, express the accumulation of the smaller number of α -tomatine inclusions attested in a

field of view than resistant genotype, TM₂ (Fig.2). In the sensitive and tolerant genotypes, the accumulations of α -tomatine are mainly attested in the cortex and in the resistant genotype, they can be observed in addition in the epidermal cells, trichomes, as well as between vascular tissue.

When analyzing the SC₁/SC₂ somaclonal variants, a specific reaction was found in infected consecutive generations depending on the genotype and origin of the somaclones. For genotype TM₂, SC₂/41, originates from infected plants, the number of particles in a field of view was lower than for SC₁/41 in the case of reinfection, and for generations SC/37 descended from healthy plants, the ratio was reversed (Fig. 2C).

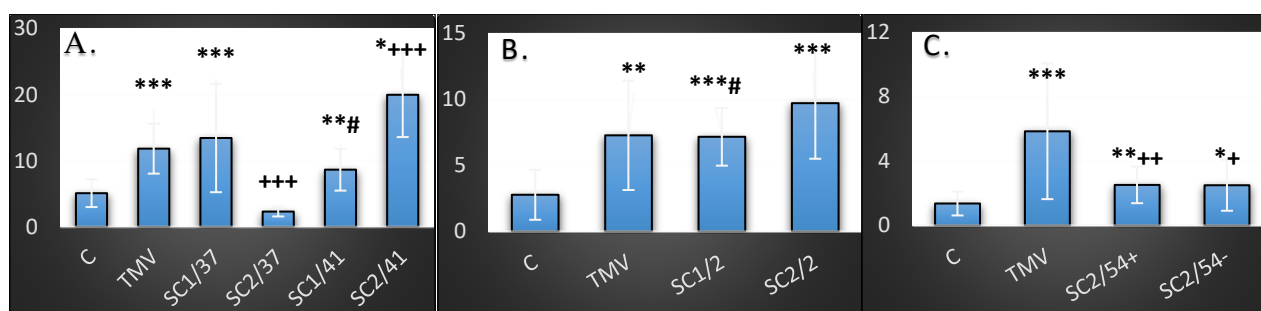


Figure 2. Distribution of the number of α -tomatine inclusions in a field of view (x 50) in the leaf petiole sections of TMV infected plants ($X \pm S_x$): A – TM₂, B – Elvira, C – *S. pimpinellifolium*.

Significant for $P \leq 0.05$, 0.01 and 0.001, respectively: ”***” – related to healthy parental form control C; ”+” – compared to the infected parental form (TMV); ”#” – SC₁ versus SC₂. The origin of somaclones is shown in Figure 1.

In the Elvira (susceptible) genotype, somaclone originally from infected plants, SC₁/SC₂ showed a higher number of α -tomatine inclusions than SC₂/SC₁, with the same trend as for somaclone SC/41 of the TM₂ genotype. We find that somaclones from infected plants, which were reinfected, expressed more intense accumulations than those from healthy or primarily infected plants.

Bibliography

1. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
2. Almagro, L., Gómez, Ros L., Belchi-Navarro S. et al. Class III peroxidases in plant defense reactions // *Journal of Experimental Botany*. 2009. Vol. 60 (2), p. 377–390.
3. Boyko, A., Kovalchuk, I. Genetic and epigenetic effects of plant–pathogen interactions: An evolutionary perspective // *Molecular Plant*. 2011. Vol. 4(6), p. 1014–1023.
4. Cogălniceanu, G., Mitoi, M., Helepciuc, F. et al. Biochemical changes induced in regenerants of *Fragaria* x *Ananassa* Duch. by the *in vitro* treatment with fungal elicitors // *Romanian Biotechnological Letters*. 2010. Vol. 15(4), p. 5512–5517.
5. Hanus-Fajerska, E., Lech, M., Pindel, A. et al. Selection for virus resistance in tomato exposed to tissue culture procedures // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2000. Vol. 22, p.317-324. doi.org/10.1007/s11738-000-0045-y.
6. Hitchborn, J.H., Hills, G.I. The use of negative staining in the electron microscopic examination of plant viruses in crude extracts // *Virology*. 1965. Vol. 27, p. 528–540.
7. Shcherbatenko, I., Oleshchenko, L. Somaclonal variation as a source of tomato spotted wilt virus-resistance in plants. In: Cooper I., Kühne, T., Polishchuk V.P. (eds.) *Virus Diseases and Crop Biosecurity*. NATO Security through Science Series. Springer, Dordrecht. 2006, p. 133–144. doi.org/10.1007/978-1-4020-5298-9_12.
8. Silva-Beltrán, N.P., Ruiz-Cruz, Saul, Cira-Chávez, Luis Alberto; et al. Total phenolic, flavonoid, tomatine, and tomatidine contents and antioxidant and antimicrobial activities of extracts of tomato // *Plant International Journal of Analytical Chemistry*. 2015. Vol. 11 (1), p. 1–10.

СЕКЦИЯ
«ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ
«ПОЧВА – ПРИЗЕМНЫЙ СЛОЙ АТМОСФЕРЫ».
ЦИКЛЫ АЗОТА И УГЛЕРОДА В АГРОЭКОСИСТЕМАХ»

**РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС, ОТНОШЕНИЕ БОУЭНА НА РЕЛЬЕФНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ**

Л. В. Козырева, А. В. Доброхотов

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

Представлены теплоэнергетические показатели на холмистой поверхности. Проведены расчеты пространственной изменчивости радиационного баланса на склонах разной экспозиции и крутизны с учетом влияния закрытости горизонта по данным режимной актинометрической информации с использованием модели рельефа. Проведен расчет явного и скрытого потоков тепла с использованием аэродинамического метода с учетом стратификации приземного слоя воздуха, как для растительности, так и для оголенной почвы. Установлено, что сложный рельеф в большей степени оказывает влияние на радиационный баланс, нежели на отношение Боуэна, которое в большей степени реагирует на изменение шероховатости подстилающей поверхности. При глобальном изменении климата необходимо рационально использовать многообразие мезо и микроклимата для повышения уровня и стабильности урожаев, для принятия стратегических и оперативных хозяйственных решений в области земледелия.

RADIATION BALANCE, BOWEN RATIO ON A RELIEF SURFACE

L. V. Kozyreva, A. V. Dobrokhotov

Agrophysical Research Institute

Thermal energy indicators on a hilly surface are presented. The spatial variability of the radiation balance on the slopes of different exposure and steepness was calculated taking into account the effect of the horizon closeness according to the regime actinometric information using the relief model. The explicit and latent heat fluxes were calculated using the aerodynamic method taking into account the stratification of the surface air layer, as for vegetation, so for bare soil. It has been established that a complex relief has a greater effect on the radiation balance than on the Bowen attitude. The Bowen attitude is shown to be more responsive to changes in the roughness of the underlying surface. With global climate change, it is necessary to rationally use the variety of meso and microclimate to increase the level and stability of crops, to make strategic and operational economic decisions in the field of agriculture

Введение. Изменчивость составляющих радиационного и теплового баланса в пересеченной местности зависит от характеристик рельефа, таких как высота, уклон, ориентация склона, а также его затененность, которые можно вычислить с помощью цифровой модели рельефа. Авторами, с достаточно высокой точностью, предложен метод расчета рельефа [Русин, Ситдикова, 2013]. Учет влияния взаимного затенения склонов на их коротковолновый баланс поверхности склонов произведен специально разработанным методом с

применением дополнительного поля «затеняющих высот» [Русин, Пикалева, 2012]. Основная идея метода состоит в том, чтобы в каждый момент времени по положению солнца рассчитывать параметры, начиная от освещенного солнцем края рассматриваемой области вглубь массива высот верхнего края тени. Точки следующего ряда затеняются теми, которые выше верхнего края тени, либо верхним краем тени, падающей от более далеких возвышенностей. Таким образом, помимо высот рельефа в расчетах фигурирует массив «затеняющих высот», меняющийся во времени. Для этих расчетов необходимы входные данные температуры воздуха, относительная влажность, атмосферное давление и продолжительность солнечного света из близлежащих метеорологических станций.

Целью данного исследования является оценка влияния холмистой поверхности на величины радиационного баланса и отношение Боуэна (отношения явного и скрытого потоков тепла) на неоднородной подстилающей холмистой поверхности с растительностью.

Методы. Прямая радиация ($I_{b_{i,j}}$), наиболее чувствительная к экспозиции и крутизне склона и в каждой точке рельефа может рассчитана по формуле Кондратьева [Кондратьев, 1954]:

$$I_{b_{i,j}} = S_b \cdot (\cos \alpha_{i,j} \cdot \sin H_s + \sin \alpha_{i,j} \cdot \cos H_s \cdot \cos(A_s - A_{i,j})) \quad (1)$$

где S_b – прямая радиация, падающая на перпендикулярную солнечным лучам поверхность; H_s – высота солнца; A_s – азимут солнца; α – угол наклона склона; A – азимут склона, (i, j) – координаты поверхности склона.

Угол наклона и азимут склона при наличии цифровой модели рельефа можно рассчитать по известным формулам [3]. Высота, азимут солнца и прямая радиация на горизонтальную поверхность рассчитывается по методу, описанному в работе [Psiloglou, Kambezidis, 2007]. Температура воздуха ($T_{a(i,j)}$) изменяется с высотой со средним вертикальным градиентом 0,65/100 м. В каждой точке местности авторами [Bennie, Huntley, 2007] предложено рассчитывать атмосферное давление по барометрической формуле, а температуру подстилающей поверхности по формуле:

$$T_{s(i,j)} = T_{a(i,j)} + a_u \cdot R_n$$

$$\begin{aligned} a_u &= 0.022 \text{ [если } u_2 \leq 1 \text{ м/с]} \\ a_u &= 0.013 \text{ [если } u_2 > 1 \text{ м/с]} \end{aligned} \quad (2)$$

где R_n – радиационный баланс, $T_{a(i,j)}$ – температура воздуха, которая зависит только от высоты, a_u – коэффициент, зависящий от скорости ветра.

С учетом предположения, что температура воздуха и массовая доля водяного пара изменяются только с высотой, радиационный баланс подстилающей поверхности в каждой точки местности ($R_{n_{i,j}}$) рассчитывается по формуле:

$$R_{n_{i,j}} = \frac{(1 - Alb) \cdot R_{s_{i,j}} - (1 - 0.747 + 0.0054 \cdot T_d) \cdot \sigma \cdot T_{a(i,j)}^4}{1 - a_u \cdot 4\sigma \cdot T_{a(i,j)}^3} \quad (3)$$

Alb – альbedo подстилающей поверхности; $R_{s_{i,j}}$ – суммарная радиация, рассчитанная для точки; T_d – точка росы; $T_{a(i,j)}$ – температура воздуха, зависящая от высоты; σ – постоянная Стефана-Больцмана.

Поток тепла в почву определяется по методу, описанному в работе [Русин, Куканова, 2012]. Однако, в пересеченной местности нередко наблюдается неоднородность пространственного распределения подстилающей поверхности. На территории площадью в 1 км² можно встретить участки оголенной почвы и несколько видов растительности с разными проективными покрытиями, то есть в каждой точке цифровой модели рельефа подстилающей поверхности с переходом от одного типа подстилающей поверхности к другому будут изменяться альbedo, температура и уровень шероховатости подстилающей поверхности, а, следовательно, и величина потоков тепла. Такая пространственная неоднородность будет оказывать большое влияние на средние по площади оценки составляющих теплового баланса.

Для оценки явного и скрытого потока тепла используется аэродинамический метод, т. к. обычные градиентные методы расчета составляющих теплового баланса по данным наблюдений в одной точке пересеченной местности не могут быть применены в оценках площадных характеристик территории с неоднородным рельефом и подстилающей

поверхностью, т. к. при обычно небольших вертикальных градиентах температуры и влажности в приземном слое воздуха, даже небольшая их пространственная изменчивость может привести к большой ошибке в расчете составляющих теплового баланса по площади в пересеченной местности.

В согласии с рекомендациями ВМО, был выбран метод Choudhury и др. (1986) т. к. он дает хорошие результаты при оценке аэродинамического сопротивления при устойчивой, неустойчивой и нейтральной стратификации, как для растительности, так и для оголенной почвы [Ефимов и др., 2013, Козырева и др., 2016].

Результаты. Для адаптации методики оценки пространственных микроклиматических характеристик на поверхности с неоднородным рельефом была построена простая модель рельефа в виде возвышенности с высотой 200 метров (рис.1). Для оценки влияния роли рельефа на микроклиматические характеристики были смоделированы плоскости 1200×800 м с различным уклоном от 5° до 60° и ориентацией склонов по четырем сторонам: северный, южный, западный и восточный. Расчет проводился для времени 14³⁰ по местному времени, высота солнца 60,8°, азимут солнца 26,2°(ююз). На таком рельефе отчетливо видны распределения радиационного баланса и отношения Боуэна, зависящих от ориентации и уклона склона.

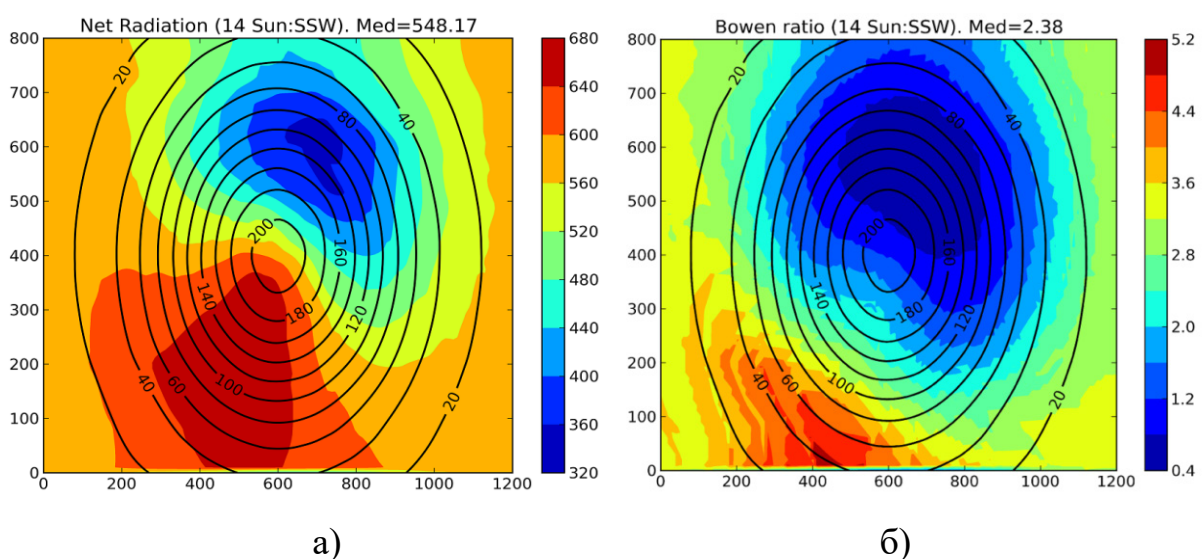


Рис. 1. Пространственное распределение радиационного баланса (а); отношение Боуэна (б)

Созданная методика адекватно реагирует на распространение составляющих теплового баланса на пересеченной местности.

Одной из самых сложных задач в микроклиматологии холмистой местности является разделение влияния подстилающей поверхности и роли рельефа. В пересеченной местности на составляющие потоков тепла оказывают не только уклон и экспозиция склона, но и тип подстилающей поверхности. Для того, чтобы количественно оценить степень их влияния был проведен ряд численных экспериментов. Целью этих экспериментов было оценить влияние отдельных факторов микроклимата на средние по площади оценки, составляющих теплового баланса. Исследуемый участок был разделен на два типа подстилающей поверхности: оголенная почва и растительность с различной степенью покрытия растительности 0, 25, 50, 75, 100%. Как известно распространение растительности начинается на пологих или же низинных участках. Поэтому процесс «зарастания» наклонной поверхности начинается у подножия. При переходе от почвы к растительности меняется альbedo, шероховатость, а следовательно, и температура поверхности, и составляющие теплового баланса. На рис. 2 показана связь средних значений отношения Боуэна по площади в зависимости от процента покрытия склона растительностью.

Как видно из рис. 3 отношение Боуэна имеет определенную зависимость от процента растительности, которая может быть описана полиномом второй степени. Радиационный баланс имеет хорошо выраженную зависимость от угла наклона склона, но связи с процентом покрытости растительности проявляется только при наличии прямой солнечной радиации, то есть для южного и отчасти западного склонов.

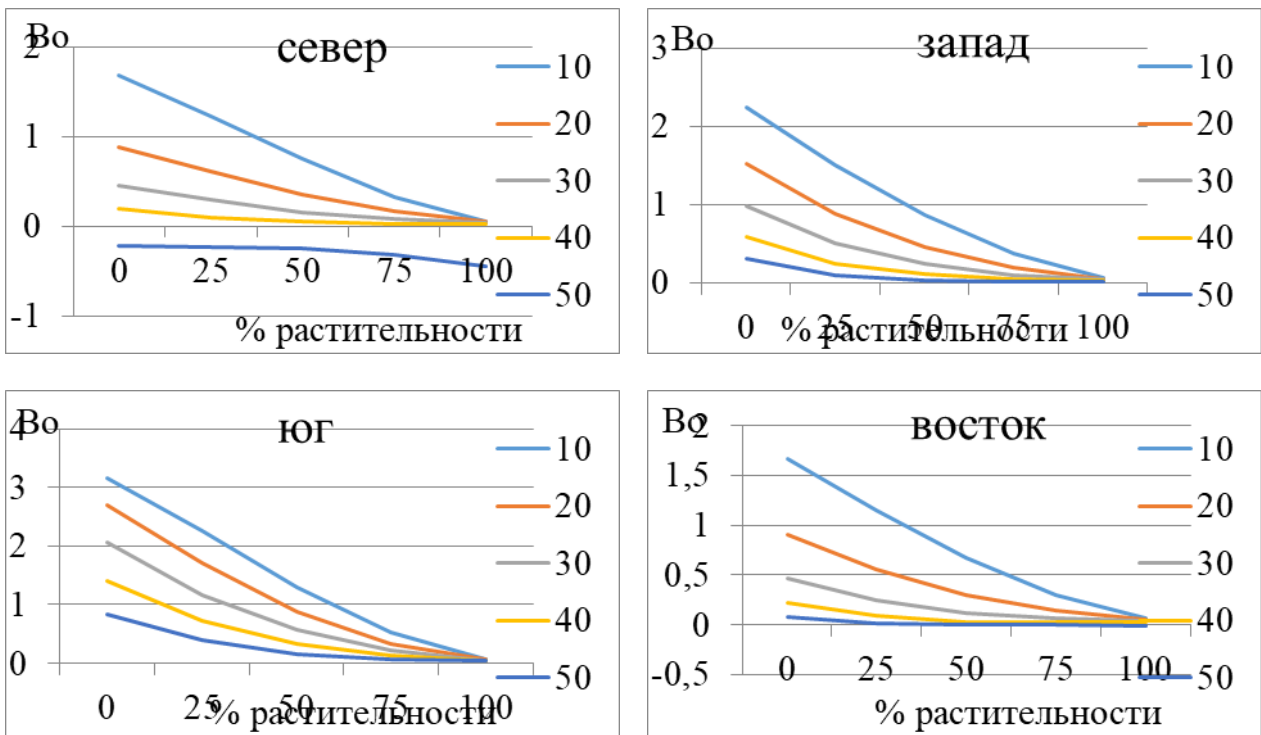


Рис. 2. Зависимость отношения Боуэна от процента растительности для склона в 10, 20, 30, 40 и 50° для четырех сторон

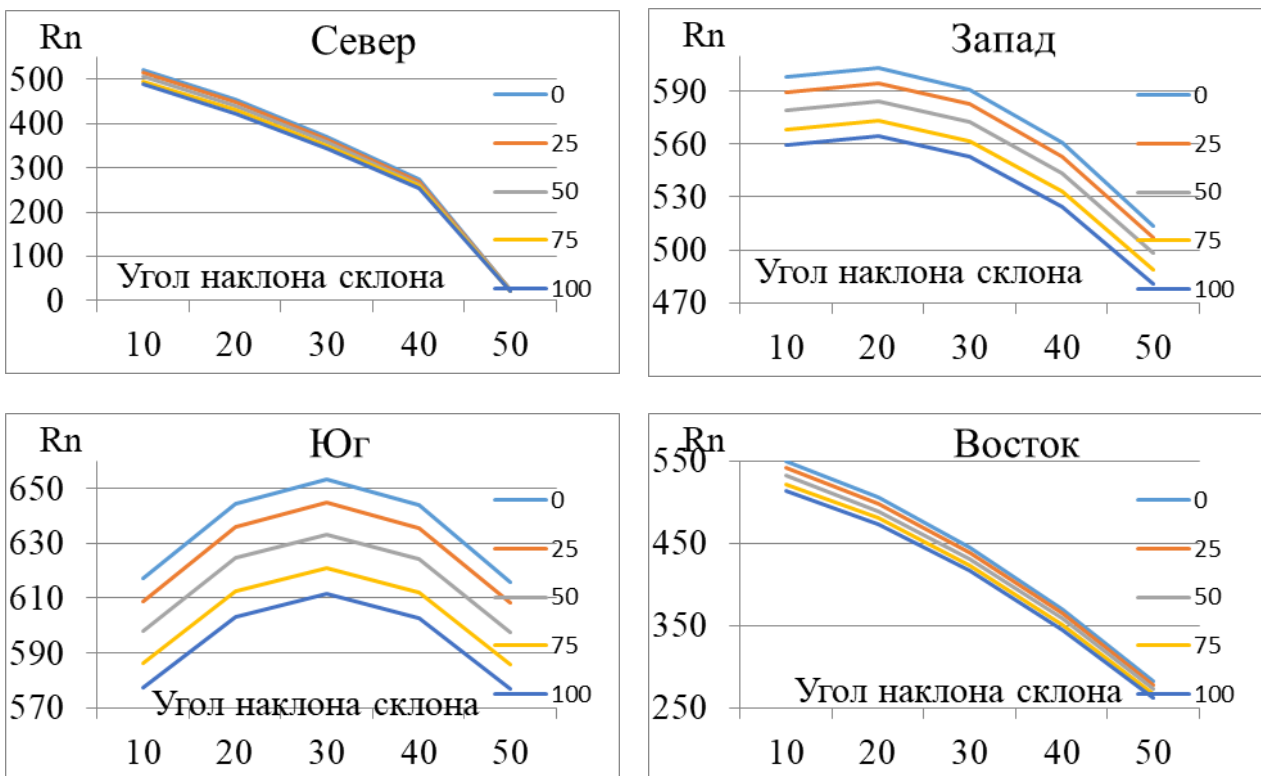


Рис. 3. Зависимость радиационного баланса и угла наклона склона для территории с различной степенью покрытия растений (0, 25, 50, 75, 100%)

Выводы

Результаты расчетов показали, что рельеф в большей степени оказывает влияние на радиационный баланс, нежели на отношение Боуэна. В то же время отношение Боуэна в большей степени реагирует на изменение подстилающей поверхности. Благодарности за участие в этой работе бывшим сотрудникам Агофизического института Ситдикову Ю. Р., Ефимова А.

Список литературы

1. Русин И.Н., Ситдикова Ю.Р. Оценка влияния изменчивости рельефа на тепловой баланс горного склона // Украинский гидрометеорологический журнал. Спецвыпуск. 2013. С. 46–54.
2. Русин И.Н., Пикалева А.А. Влияние затенения на радиационный баланс горного ледника // Вестник СПбГУ. Серия 7. 2012. Вып. 2. С. 81–90.
3. Кондратьев К. Я. Лучистая энергия солнца. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 599 с.
4. Psiloglou V. E., Kambezidis H. D. 2007. Performance of the meteorological radiation model during the solar eclipse of 29 March 2006 Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. 7: 12807–12843 Atmos. Chem. Phys., 7, 6047–6059, <https://doi.org/10.5194/acp-7-6047-2007>, 2007.
5. Bennie Jonathan, Huntley Brian, Wiltshire Andrew, Mark O. Hill, Robert Baxter. Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland, 2008. 216: 47-
6. Русин И. Н., Куканова Е. А. Оценка в реальном времени потока тепла в почву по данным почвенных термометров. Научный диалог. Естествознание и экология. 2012. № 7. С. 98–112.
7. Ефимов А.Е., Ситдикова Ю.Р., Козырева Л.В., Доброхотов А.В. АМПАК (Автоматизированный Мобильный Полевой Агрометеорологический Комплекс). Методические указания по использованию. СПб., 2013. 32 с.
8. Козырева Л. В. и др. Методика оценки составляющих водного и теплового балансов в системе «почва – растение – приземный слой воздуха» с учетом стратификации приземного слоя, неоднородности подстилающей поверхности с использованием данных дистанционного зондирования земли и наземной калибровки автоматизированным мобильным полевым агрометеорологическим комплексом (АМПАК), 2016. 47 с.

ДИНАМИКА КАТАЛАЗНОЙ И УРЕАЗНОЙ АКТИВНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОУГЛЯ

М. А. Москвин, В. И. Дубовицкая, В. Е. Вертебный, Е. Я. Рижия,
Ю. В. Хомяков

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

Представлены результаты лабораторного эксперимента по изучению динамики каталазной и уреазной активности дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении 20 т га⁻¹ биоугля. Внесение биоугля, несмотря на общую низкую активность каталазы и уреазы в вариантах дерново-подзолистой супесчаной почвы, позволило повысить активность данных показателей. Максимум каталазной и уреазной активности в течение первого месяца инкубирования образцов почвы с дальнейшим снижением показателя к концу эксперимента.

DYNAMICSOFCATALASEANDUREASEACTIVITYOFSOD-PODZOLICSOILAFTER APPLYING OF WOODBIOCHAR

М. А. Moskvina, V. I. Dubovitskaya, V. E. Vertebniy, E. Y. Rizhiya,
Khomyakov Yu. V.

Agrophysical Research Institute

To justify the effectiveness of the use of biochar in agriculture it is necessary to clearly understand the mechanisms underlying its action, and the direction of its influence on the processes occurring in the soil. The high sensitivity, accuracy, relative simplicity and low complexity of methods for determining the activity of soil enzymes allows them to be used in assessing the intensity and direction of the most important biochemical processes in the soil. The results of a laboratory experiment to study the dynamics of catalase and urease activity of sod-podzolic sandy loam soil with different level of soil quality are presented. In each case of soil quality (medium and high), two variants were studied: (1) soil – control (without biochar) and (2) soil with biochar (at the rate of 20 t ha⁻¹ or 5.5 g per vessel) with different moisture content, 42 vessels for each variant. The duration of the experiment was 7 months. The introduction of biochar, despite the overall low activity of catalase and urease in the control variants of sod-podzolic sandy loam soil allowed to increase the activity of these indicators, which are favorably associated with the environmental purposes of these enzymes – to deactivate hydrogen peroxide entering the soil as a result of biological activity and hydrolytic splitting of urea into ammonia and carbon dioxide, respectively. An increase in the quality of soils led to an increase in the activity of urease and catalase. With the increase in soil moisture, there was an increase in the activity of the studied enzymes on average by 11 %, but without significant differences between the variants with or without biochar. In all variants of the experiment, the maximum urease activity was observed during the first month of incubation of soil samples, but with a further decrease in the indicator by the end of the experiment.

Метод применения биоугля в аграрной отрасли особую популярность приобрел в 2000-х годах, когда появились исследования ученых из Германии и США, обративших внимание на сельскохозяйственные почвы стран Латинской Америки – Бразилии, Колумбии, Эквадора и Французской Гвианы (Glaser, Birk, 2012). Биоуголь – продукт высокотемпературной бескислородной карбонизации

органических остатков в пиролизных печах (Fangetal., 2014). По своему строению относится к классу карбонизированных веществ из-за общности характерного структурного элемента – атомной сетки циклически полимеризованного углерода, валентно соединённого между собой. Ряд полученных положительных эффектов на плодородие почв и экологические функции окружающей среды указывает на актуальность исследования по применению биоугля как комплексного мелиоранта, регулирующего ряд физических, физико-химических и биологических свойств сельскохозяйственных почв (Рижия и др., 2017). Однако для обоснования эффективности применения биоугля в сельском хозяйстве необходимо четко представлять механизмы, лежащие в основе его действия, и направленность его влияния на процессы, протекающие в почве. Среди различных биологических критериев оценки влияния вносимых продуктов на почвы наиболее оперативными и перспективными являются биохимические показатели ферментативной активности. Высокая чувствительность, точность, относительная простота и незначительная трудоёмкость методов определения активности почвенных ферментов позволяет использовать их при оценке интенсивности и направленности важнейших биохимических процессов в почве. Стабилизированные за счет связи с минеральными и органическими компонентами почвы внеклеточные ферменты функционируют, в том числе и при неблагоприятных условиях дефицита влаги и элементов питания, когда численность многих групп микроорганизмов резко снижается, а некоторые виды погибают. Особое внимание уделяется катализирующему эффекту гидролаз и оксидоредуктаз (Hochstein, Tomlinson, 1988; McCarty, 1999). Данные ферменты обладают высокой чувствительностью к различным воздействиям и значимостью в трансформации органического вещества, от которой зависит цикл азота. Например, уреазы – катализируют реакции гидролитического расщепления мочевины на аммиак и диоксид углерода, а каталаза связана с жизнедеятельностью преимущественно аэробных микроорганизмов

иактивизирует расщепление перекиси водорода, токсичной для живых организмов, на воду и свободный кислород.

Почва для лабораторного эксперимента была отобрана из дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности на Агрофизическом стационаре МОС-АФИ. В каждой изучали два варианта: (1) почва – контроль (без биоугля) и (2) почва с биоуглем (из расчета 20 т га⁻¹ или 5,5 г на сосуд) с разным содержанием влаги, по 42 сосуда для каждого варианта. Длительность эксперимента – 7 месяцев.

Определения ферментативной активности проводили по стандартным методикам: Активность каталазы – методом перманганатометрии (по Джонсону и Темпле) – титрованием 0,1 н раствором КМnО₄. Объем реакционной смеси рассчитывали, исходя из пропорции 1 г сухой почвы на 22,5 мл г⁻¹ почвы, помещали в коническую 125 мл колбу и заливали 20 мл дистиллированной воды. Реакцию запускали добавлением 2,5 мл 8,8 мМ пероксида водорода. Реакцию проводили 30 мин, при постоянном перемешивании, после чего остатки непрореагировавшего Н₂О₂ стабилизировали добавлением 2,5 мл 3 н. серной кислоты. Количество неизрасходованного пероксида водорода определяли титрованием 0,1 Н перманганатом калия. В качестве контроля использовали автоклавированную почву. Активность уреазы – по методу Т. А. Щербаковой с использованием реактива Несслера для количественного определения N-NH₄⁺ (мг кг⁻¹ почвы за 24 часа при t = 37°C) (Хазиев, 1990).

По шкале оценки ферментативной активности (Звягинцев, 1987), дерново-подзолистая почва как с СОК, так и с ВОК, характеризовалась бедной по уреазной активности (от 3 до 10 мг N-NH₄ (10 г почвы за 1 сут)⁻¹). При этом почвы более богатые органическим веществом, большим содержанием общего и минерального азота (ВОК) достоверно (p < 0,05) преобладали по значениям данного показателя, по сравнению с более бедными почвами (СОК). Во всех вариантах эксперимента наблюдался максимум уреазной активности в течение первого месяца инкубирования образцов почвы, но с дальнейшим снижением показателя к концу эксперимента. С увеличением влажности почвы в вариантах

почв с биоуглем и без биоугля наблюдалось усиление уреазной активности, в среднем на 10–11%, однако, без достоверных различий между вариантами в ходе эксперимента, кроме конечной фазы инкубирования образцов почв, когда были установлены достоверные различия между вариантами с биоуглем и без биоугля ($p < 0,05$) в вариантах почвы с СОК.

По обогащенности ферментами (Звягинцев, 1987) почвы во всех вариантах эксперимента характеризовались как очень бедные по каталазной активности, которая снижалась от начала до окончания наблюдения во всех исследованных вариантах почв с СОК и ВОК, однако внесение биоугля позволило повысить данный показатель, что благоприятно связано с экологическим назначением каталазы – дезактивировать пероксид водорода, попадающий в почву в результате биологической деятельности. Подобную тенденцию отмечали и в других работах, например, Е. В. Даденко (2004) и М. А. Размахина (2015) сообщали, что в лабораторных условиях каталазная активность имела общую тенденцию уменьшения к концу эксперимента и зависела от воздушного режима, влажности и плотности сложения почв. С увеличением влажности почвы с СОК с 19% на каждые 2% как в вариантах без биоугля, так и с биоуглем происходило усиление каталазной активности, в среднем на 11%, однако без достоверных различий между вариантами с разной влажностью. При этом внесение биоугля позволило достоверно увеличить каталазную активность почвы в среднем в 1,15 раза по сравнению с почвой без биоугля. Максимальные значения этого показателя ($360 \text{ мкМ Н}_2\text{О}_2\text{г}^{-1} \text{ почвы час}^{-1}$) были зафиксированы в почве с биоуглём при её влажности 24%. В вариантах с ВОК с биоуглем и без биоугля в почве наблюдались достоверные различия ($p < 0,05$) в каталазной активности только между вариантами с наименьшей (22%) и наибольшей влажностью (26%) почвы. Максимальные значения каталазной активности установлены в варианте почвы с влажностью 26% с биоуглем, которые составляли $480 \text{ мкМ Н}_2\text{О}_2\text{г}^{-1} \text{ почвы час}^{-1}$.

Заключение

Внесение биоугля, несмотря на общую низкую активность каталазы и уреазы в вариантах дерново-подзолистой супесчаной почвы, позволило повысить активность данных показателей, что благоприятно связано с экологическими назначениями данных ферментов – дезактивировать пероксид водорода, попадающий в почву в результате биологической деятельности и гидролитического расщепления мочевины на аммиак и диоксид углерода, соответственно. Увеличение степени окультуренности почв приводило к увеличению активности уреазы и каталазы. С ростом влажности почв наблюдалось усиление активности изучаемых ферментов. Во всех вариантах эксперимента наблюдался максимум уреазной активности в течение первого месяца инкубирования образцов почвы, но с дальнейшим снижением показателя к концу эксперимента.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований, проект № 19-016-00038-А.

Список литературы

1. Glaser B., Birk J. State of the scientific knowledge on propertie sand genesis of Anthropogenic Dark Earthsin Central Amazonia (terra pretade Índio). *Geochimicaet Cosmochimica Acta*, 2012. 82: 39–51.
2. Fang Y., Singh B., Singh B. P., Krull E. Biocharcarbon stability in four contrasting soils. *European Journalof Soil Science*, 2014. 65(1): 60-71.
3. Рижия Е. Я., Мухина И. М., Вертебный В. Е., Хорак Я., П. Ю. Конончук, Хомяков Ю. В. Ферментативная активность и эмиссия закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы с биоуглем // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Том 52. № 3. С. 464–470.
4. Hochstein L.I., Tomlinson G.A. The enzymes associated with denitrification. *Annu. Rev. Microbiol.* 1988. 42: 231–261.
5. McCarty, G. Modes of action of nitrification inhibitors. *Biol Fertil Soils*, (1999).29: 1–9.
6. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 1990. 189 с.
7. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. М.: МГУ, 1987. 256 с.
8. Даденко Е. В. Методические аспекты применения показателей ферментативной активности в биодиагностике и биомониторинге почв. Канд. биол. наук дис., Ростов-на-Дону, 2004.
9. Размахина М. А. Влияние антропогенных факторов на загрязнение почв / *Мат. VII Межд. студ. электронной науч. конф. «Студенческий научный форум-2015»* URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/826/8691>.

РОЛЬ ПОЧВОПОДОБНЫХ ТЕЛ И КРИОКОНИТОВ В ДЕГРАДАЦИИ ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

В. И. Поляков, Е. В. Абакумов

Санкт-Петербургский государственный университет

Вызванное деятельностью человека загрязнение атмосферы способствует таянию ледников, ускоряет процесс изменения климата на планете и приводит к деградации окружающей среды. Черный углерод является одним из короткоживущих климатически значимых факторов. Под этим термином понимают климатообразующие вещества, которые находятся недолгое время в атмосфере - от нескольких дней до нескольких лет. Поскольку углекислый газ химически пассивен, его продолжительность жизни в атмосфере относительно велика – около 100 лет. Поэтому, действия, предпринятые для сокращения антропогенных выбросов углекислого газа, даже если они будут очень успешными, дадут эффект только через несколько десятилетий.

ROLE OF SOIL-LIKE BODIES AND CRYOCONITES IN THE DEGRADATION OF THE ICE COVER OF THE ARCTIC AND ANTARCTIC

V. I. Polyakov, E. V. Abakumov

Saint Petersburg State University

Air pollution caused by human activity contributes to the deglaciation, speed up the process of climate change on the planet and leads to environmental degradation. Black carbon is one of the short-lived climatically significant factors. This term refers to climate-forming substances that are located for a short amount of time in the atmosphere - from several days to several years. Since carbon dioxide is chemically passive, its life expectancy in the atmosphere is relatively long - about 100 years. Therefore, the actions taken to reduce anthropogenic carbon dioxide emissions, even if they are very successful, will have an effect in only a few decades.

Введение

Черный углерод, поступая на снежный и ледовый покров, приводит к его нагреванию, увеличивая количество поглощённой солнечной энергии, уменьшая ее альбедо, что в свою очередь приводит к его таянию (Hirdman et al., 2010; Mitchell 1957). Изменение альбедо поверхности под воздействием атмосферных осадков и особенно, черного углерода является важным фактором ускорения дегляциации ледников. Черный углерод образуется в результате неполного сгорания ископаемого топлива, биомассы и т. д., в основном это: выбросы дизельных двигателей транспортного и промышленного назначения; выбросы в ходе процессов сжигания древесины и угля; выбросы промышленных производственных процессов (металлургия и нефтехимия); выбросы при нефте-

и газодобыче, а также лесные пожары и сжигание сельскохозяйственных отходов. Наиболее ярко глобальное потепление проявляет себя в полярных областях (Quinn et al., 2008; Dumont et al., 2014; Flanner et al., 2007).

Роль черного углерода в дегляциации ледников Арктики и Антарктики

По оценкам некоторых экспертов, в России существует два основных источника выбросов черного углерода: лесные пожары, сжигание дров, угля и жидкого топлива. На эти два источника приходится около двух третей выбросов углерода.

Концентрации черного углерода на снежных и ледовых поверхностях полярной зоны сильно различаются в зависимости от расстояния до регионов, из которых они прибыли, и от времени года. В работе Doherty et al. (2010), проведенной в 2005–2009 гг. в различных регионах Арктики, было показано, что, в Арктике концентрация черного углерода была значительно ниже, чем в районах, близких к источникам выбросов. Что касается влияния времени года на концентрацию черного углерода, было установлено, что в зимне-весеннее время в Арктике наблюдается более высокий уровень загрязнения (Hansen et al., 1984; Barrie 1986; Barrie 1996).

Как уже упоминалось выше, черный углерод образуется в результате деятельности промышленности, а также лесных пожаров, которые определяют его химический состав. Согласно Oen et al. (2006), черный углерод может накапливать высокие уровни ПАУ. Таким образом, черный углерод может быть приоритетным токсичным веществом, попадающим в почву или поверхностные воды.

Черный углерод в виде аэрозоля может переносить тяжелые металлы в арктический регион. Наибольшее количество наблюдается вблизи промышленных центров (Кольский полуостров, Ямало-Ненецкий автономный округ). В течение года концентрации аэрозоля меняются; пик приходится на начало года (январь–февраль), а минимальные значения наблюдаются летом. Процесс переноса связан с осаждением и поглощением аэрозольных молекул черного углерода и тяжелых металлов. Аэрозоли могут накапливаться во льду и

снегу и образовывать криокониты. Темный цвет черного углерода притягивает солнечный свет и в результате влияет на таяние льда и снега. В результате таяния происходит увеличение размеров криоконитов. Таким образом, криокониты являются местом скопления тяжелых металлов и питательных веществ, и здесь образуются специфические почвоподобные тела.

Из данных, полученных с островов Кинг-Джордж и Ливингстон (Западная Антарктида), можно отметить, что происходит накопление цинка и меди в частицах черного углерода. Основным источником черного углерода в этой части Антарктики являются выбросы от извержений вулканов.

Из агрохимического анализа черного углерода следует отметить, что накапливаются подвижные формы калия, высокие концентрации калия могут быть связаны с его присутствием в полевых шпатах и слюде, из которых состоят оазисы восточной Антарктиды. Во время ветровой эрозии слюда и полевые шпаты могут выделять калий, который является химически активным элементом и при взаимодействии с аэрозолями может перемещаться в западную часть Антарктиды.

Источник соединений фосфора и азота может быть связан с влиянием птиц в островной части Антарктиды. Птицы являются основным источником питательных веществ в Антарктике. Увеличение содержания питательных веществ в почвоподобных телах может привести к образованию растительного покрова, который поглощает меньше солнечных лучей, чем черный углерод, и снижает скорость дегляциации. Согласно предыдущим исследованиям орнитогенных почв, содержание подвижных форм питательных веществ здесь значительно выше, что связано с прямым накоплением питательных веществ и низкими показателями микробиологической активности в антарктических почвах (Абакумов, 2018). С точки зрения фонового содержания питательных веществ в почвах с острова Кинг-Джордж, наблюдается высокое содержание питательных веществ по сравнению с образцами криоконита. Исходя из этого, можно сделать вывод, что органоминеральные вещества, которые накапливаются в криоконите, являются наименее подходящими для развития

растений и микробиоты почвы. Низкое содержание питательных веществ в криоконите связано с тем, что птицы (основной источник питательных веществ в этом регионе) предпочитают гнездиться на естественных почвах.

^1H - ^{13}C (HETCOR) ЯМР спектроскопия криоконитов полярной зоны

В процессе оттаивания органического вещества, происходит увеличение криоконитов по отношению к исходной поверхности ледника, в результате чего происходит дополнительное накопление органического вещества в микродепрессиях. Пространственная сеть криоконитов становятся более развитой, что приводит к деградации поверхности ледников. Органический углерод в криоконитах может рассматриваться как специфическая форма стабилизации природного органического вещества и должна быть исследована на молекулярном уровне. Преимущество метода ЯМР-спектроскопии заключается в возможности количественного определения содержания групп структурных фрагментов и идентификации отдельных структурных элементов в молекулах гуминовых кислот. Исследования органических соединений ГК криоконитов полярной области методом ^1H - ^{13}C (HETCOR) до настоящего времени не проводились. Преимущество этого метода состоит в том, что при анализе спектров ГК мы можем наблюдать перекрестные пики связей Н-С, в то время как для ЯМР-спектроскопии ^{13}C (CP/MAS) мы можем наблюдать только химически связанный углерод. Метод HETCOR позволяет изучать отдельные фрагменты ГК. Таким образом, комбинация ЯМР-спектроскопии ^1H - ^{13}C (HETCOR) и ^{13}C (CP/MAS) позволяет надежно определить молекулярную структуру ГК. Анализ молекулярного состава показал, что, образованные в криоконитах Шпицбергена и острова Кинг-Джордж (Антарктика) ГК, содержат в своем составе значительное количество ароматических фрагментов (41–43%) с относительно небольшой долей углеводной периферии, о чем свидетельствуют более высокие значения AR/AL (0,75 и 0,69). Более высокая ароматичность ГК обуславливает их высокую стабильность, и степень гидрофобности ГК в этих почвах также выше, что свидетельствует о стабилизации ГК.

Выводы

Черный углерод играет ключевую роль в дегляциации. В Арктике он накапливается в основном весной (февраль-март); его концентрация в воздухе может достигать 80 нг м³. Также происходит и накопление приоритетных токсикантов. Черный углерод является недолговечным климатическим фактором, определяющим в основном природные явления (извержения вулканов, пожары) и может способствовать деградации льда и снега в полярных регионах. В настоящее время нет возможности создать надежные модели накопления черного углерода. Дальнейшее изучение качественного и количественного состава углеводородов будет способствовать параметризации глобального углеродного цикла, а также предотвращению загрязнения воды и почвы полярных регионов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 19-05-50107.

Список литературы

1. Hirdman D., Sodemann H., Eckhardt S., Burkhardt J. F., Jefferson A. Source identification of short-lived air pollutants in the Arctic using statistical analysis of measurement data and particle dispersion model output. *Atmos. Chem. Phys.*, 10 (2010), p. 669–693.
2. Mitchell J. M. Visual range in the polar regions with particular reference to the Alaskan Arctic. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 17 (1957), p. 195–211.
3. Quinn P. K., Bates T. S., Baum E., Bond T., Burkhardt J. F., Fiore A. M., Flanner M., Garrett T. J., Koch D., McConnell J., Shindell D., Stohl A. The Impact of Short-Lived Pollutants on Arctic Climate. AMAP Technical Report No. 1. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway: AMAP, 2008.
4. Dumont M., Brun E., Picard G. Contribution of light-absorbing impurities in snow to Greenland's darkening since 2009. *Nat. Geosci.*, 7(7) (2014), p. 509–512.
5. Flanner M., Zender C., Randerson J., Rasch P. Present-day climate forcing and response from black carbon in snow. *J. Geophys. Res.*, 112 (2007), D11202.
6. Doherty S., Warren S., Grenfell T., Clarke A., Brandt R. Light Absorption from Impurities in Arctic Snow. *Atmos. Chem. Phys.*, 10 (2010), p. 1647–11680.
7. Hansen A. D. A., Rosen H., Novakov T. The aethalometer— An instrument for the real-time measurement of optical absorption by aerosol particles. *Sci. Total Environ.*, 36 (1984), p. 191–196.
8. Barrie L. A. Arctic air pollution: An overview of current knowledge. *Atmos. Environ.* 20 (1986), p. 643–663.
9. Barrie L. A. Occurrence and trends of pollution in the Arctic troposphere, in *Chemical Exchange Between the Atmosphere and Polar Snow*. Global Environ. Change, NATO ASI Ser. I., 43 (1996), p. 93–130.
10. Oen A. M. P., Cornelissen G., Breedveld G. D. Relation between PAH and black carbon content in size fractions of Norwegian harbor sediments. *Environmental Pollution*, 141 (2006), p. 370–380.
11. Abakumov E. Content of available forms of nitrogen, potassium and phosphorus in ornithogenic and other soils of the Fields Peninsula (King George Island, Western Antarctica). *Bio. Comm.*, 63(2) (2018), p. 109–116.

**ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТЕПЕНИ АРОМАТИЗАЦИИ И
ОКИСЛЕНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ СТРУКТУР БИОУГЛЯ В
РЕЗУЛЬТАТЕ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВОЙ**

Е. Я. Рижия, В. Е. Вертебный, Ю. В. Хомяков, М. А. Москвин,
В. И. Дубовицкая, П. Ю. Конончук

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт

Представлены результаты лабораторного эксперимента по изучению изменения степени ароматизации и окисления ароматических структур биоугля в результате его взаимодействия с дерново-подзолистой почвой. Результаты исследований показали, что степень ароматизации органического вещества биоугля в ходе инкубирования оставалась постоянной, но ароматическое органическое вещество биоугля из почвы с более низким качеством было в большей степени подвержено минерализации.

**TEMPORARY CHANGES IN THE DEGREE OF AROMATIZATION AND
OXIDATION OF AROMATIC STRUCTURES OF BIOCAR AS A RESULT
OF ITS INTERACTION WITH SOD-PODZOLIC SOIL**

E. Y. Rizhiya, V. E. Vertebniy, Yu. V. Khomyakov, M. A. Moskvina,
V. I. Dubovitskaya, P. Yu. Kononchuk

Agrophysical Research Institute

Studies of temporary changes in the degree of aromatization and oxidation aromatic structures of biochar in sod-podzolic sandy loam soil with different degrees of quality were carried out under controlled laboratory conditions for 7 months: in 500 ml growing vessels, incubated in a biological cabinet at a temperature of 28°C and at constant soil humidity, maintained by watering it to a constant weight 3 times a week. Chemical analysis of biocarbon was performed on the element analyzer EuroEA3028-NO for simultaneous determination of C, H, N, O.

The decrease in the C content of biochar was greater with the increasing of the moisture content and the higher the degree of soil quality. The N content of biochar from medium quality soil increased slightly during incubation, despite differences in soil moisture content, and from the soil with a high degree of quality showed a significant ($p < 0.05$) increase during incubation. The O content in the biocar both from the soil with medium and high soil quality increased as the soil moisture content increased, which contributed to a more intensive formation of oxygen-containing groups on the surface of the biochar. The content of H in the biochar from the soil with medium soil quality increased during incubation, and from the soil with high soil quality decreased due to condensation reactions of organic compounds.

Thus, «aging» of biochar in soils contributed to an increase in its specific surface area and the formation of oxygen-containing functional groups on its surface. In the soil with a high degree of cultivation, an unreliably greater decrease in the carbon content in the biocarbon was observed. The microbial community in both soils was one of the main factors of mineralization of easily accessible organic compounds of biocar. Results of calculations of the H/C, O/C, and (O+N)/C indicated that the degree of aromatization of biochar organic matter during incubation remained constant, but biochar organic matter from lower-quality soil was more susceptible to mineralization.

Превращение отходов лесной промышленности и сельского хозяйства при помощи бескислородного пиролиза в биоуголь для дальнейшей долговременной его секвестрации в почвах позволяет управлять их качеством и фундаментальными экологическими функциями. В настоящее время биоуголь используется повсеместно в мире, как мелиорант почв, способствующий снижению эмиссии парниковых газов в атмосферу, улучшению их физико-химического, физического и биохимического качества и экологического равновесного состояния в окружающей среде (Mukherjee, Lal, 2014). Однако, различные технологические условия производства биоугля (тип биомассы, температура, скорость пиролиза) обуславливают различия в его биохимическом составе и структуре органического вещества и, как следствие, различия в его физических, физико-химических, гидрофизических, микробиологических и биохимических свойствах (Рижия и др., 2014). Поэтому в настоящее время существуют неопределённости в научно обоснованной оценке его использования в сельском хозяйстве и роли биоугля в изменениях параметров качества и устойчивости почв. Поскольку внесение в почвы биоугля как органического мелиоранта является необратимым действием, оценка временных изменений его ароматической структуры и элементного состава необходима для обоснованного выбора рациональных способов его длительного применения.

После внесения биоугля в почвы, его ароматические структуры, пористое пространство и поверхность начинает взаимодействовать с почвенными органическими и неорганическими соединениями, минералами и растворами, а также подвергаются воздействию микроорганизмов. Другими словами, начинается так называемый процесс «старения» (aging) биоугля в почвах, различающихся в генезисе и способах использования. Результаты сопряжённых исследований временных изменений элементного состава биоугля в почве позволяют оценить, во-первых, направленность изменений его физико-химического состояния и биохимической устойчивости ароматического органического вещества к минерализации, и, во-вторых, влияние изменений этих параметров состояния биоугля на аналогичные физико-химические и биохимические параметры почвы. Как правило, исследования элементного

состава биоугля посвящены количественному анализу содержания в биоугле четырёх элементов: С, Н, О, N (Bakshi et al., 2016).

Исследования изменения степени ароматизации и окисления ароматических структур биоугля в дерново-подзолистой супесчаной почве разной степени окультуренности проводили в регулируемых лабораторных условиях в течение семи месяцев: в вегетационных сосудах объемом 500 мл, инкубированием в биологическом шкафу при температуре 28°C и при постоянной влажности почвы, поддерживаемой её поливом до постоянного веса три раза в неделю.

Химический анализ биоугля выполняли на элементном анализаторе Euro EA3028-НТ для одновременного определения С, Н, N, О. Принцип работы прибора основан на методе Дюма – Прегля. Сжигание проб осуществлялось в токе чистого кислорода с последующим восстановлением окислов азота и разделением газообразных продуктов окисления на хроматографической колонке с детектированием по теплопроводности. Определение содержания элементов осуществляется на основе содержания в продуктах сгорания CO₂, H₂O, N₂.

Уменьшение содержания углерода в биоугле, входящего в легкодоступные органические соединения, было тем больше, чем больше содержание влаги и чем выше степень окультуренности почвы. Содержание азота в биоугле из почвы со средней степенью окультуренности (СОК) незначительно повышалось в ходе инкубирования, несмотря на различия в содержании почвенной влаги. Содержание азота в биоугле из почвы с высокой степенью окультуренности (ВОК) показало достоверное ($p < 0,05$) повышение в ходе инкубирования. Увеличение содержания азота в биоугле из почвы с ВОК было тем больше, чем больше было содержание почвенной влаги. Наблюдаемые изменения в содержании углерода и азота, вероятно, в большей мере были обусловлены различной микробиологической активностью при заданных водно-воздушных условиях в почвах с СОК и ВОК (Рижия и др., 2017).

Содержание кислорода в биоугле как из почвы с СОК, так и из почвы с ВОК увеличивалось недостоверно по мере повышения содержания почвенной влаги, которое способствовало более интенсивному формированию

кислородсодержащих групп на поверхности биоугля. Повышение содержания кислорода в биоугле, возможно, обусловлено процессами хемосорбции кислорода благодаря формированию кислородсодержащих функциональных групп на поверхности биоугля (Cheng et al., 2006). Содержание водорода в биоугле из почвы с СОК увеличилось в ходе инкубирования, а в биоугле из почвы с ВОК уменьшилось вследствие реакций конденсации органических соединений (Keiluweit et al., 2010). Различия в содержании влаги в обеих почвах не оказывали достоверного влияния на содержание водорода в биоугле. Отношения Н/С, О/С и (О+N)/С используют для оценки степени ароматизации органического вещества биоугля, окисленности и поляризации поверхности биоугля. Результаты расчётов отношения Н/С свидетельствуют о том, что степень ароматизации органического вещества биоугля оставалась постоянной и была недостоверно выше в биоугле из почвы с ВОК, чем в биоугле из почвы с СОК. Возможно, ароматическое органическое вещество биоугля из почвы с СОК было в большей степени подвержено минерализации. Отношения Н/С в биоугле из почвы с СОК незначительно повысились, а в биоугле из почвы с ВОК уменьшились в конце периода инкубирования. Эти данные подтвердили результаты наших полевых исследований: «старение» биоугля в почве с ВОК сопровождалось увеличением степени ароматизации его органического вещества. Отношение О/С в биоугле из почвы с СОК и ВОК оставалось стабильным на протяжении периода наблюдений в лабораторном эксперименте, как и в полевом эксперименте. Отношение (О+N)/С оказалось более чувствительным показателем поляризации и окисленности поверхности биоугля из почв с разной окультуренностью и влажностью. В биоугле из почвы с СОК окончательные значения отношения (О+N)/С составляли 0,076, 0,080 и 0,087 при содержании почвенной влаги – 19%, 21% и 23%. В биоугле из почвы с ВОК эти отношения были равны 0,084, 0,090 и 0,102 при содержании почвенной влаги – 22%, 24% и 26%. Результаты этих исследований показали, что повышение окультуренности почвы и её содержания влаги способствовало увеличению поляризации поверхности биоугля и, как следствие, повышению плотности на ней кислородсодержащих функциональных групп.

В целом, результаты наших лабораторных исследований подтвердили данные нашего полевого изучения таких показателей «старения» биоугля в почвах как: временные изменения элементного состава биоугля, степени ароматизации органических структур биоугля и степени поляризации его поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, нахождение («старение») биоугля в почвах способствовало повышению его удельной поверхности и формированию на его поверхности кислородсодержащих функциональных групп. В почве с высокой степенью окультуренности наблюдали недостоверно большее снижение содержания углерода в биоугле. Микробное сообщество в обеих почвах являлось одним из главных факторов минерализации легкодоступных органических соединений биоугля. Результаты расчётов отношений Н/С, О/С и (О+N)/С свидетельствовали о том, что степень ароматизации органического вещества биоугля в ходе инкубирования оставалась постоянной, но ароматическое органическое вещество биоугля из почвы с более низким качеством было в большей степени подвержено минерализации.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований, проект № 9-016-00038-А.

Список литературы

1. Mukherjee A., Lal R. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*. 2014. V. 3: 313–339.
2. Рижия Е. Я., Мухина И. М., Вертебный В. Е., Хорак Я., Конончук П. Ю., Хомяков Ю. В. Ферментативная активность и эмиссия закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы с биоуглем // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Том 52. № 3. С. 464–470.
3. Рижия Е. Я., Бучкина Н. П., Мухина И. М., Павлик С. В., Балашов Е. В. Применение биоугля в сельском хозяйстве Российской Федерации. Методические рекомендации. СПб.: АФИ, 2014г. 28 с.
4. Bakshi S., Aller D. M., Laird D. A., Chintala R. Comparison of the physical and chemical properties of laboratory and field-aged biochars. *Journal of environmental quality*. 2016. V. 45(5): 1627–1634.
5. Cheng C. H., J. Lehmann, J. E. Thies, S. D. Burton, M. H. Engelhard. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Org. Geochem*. 2006. 37: 1477–1488.
6. Keiluweit M., Nico P. S., Johnson M. G., Kleber M. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environmental science & technology*, 2010. 44(4), 1247–1253.

IMPACT OF CONVENTIONAL PLOUGHING AND MINIMAL TILLAGE ON SPRING OAT (*AVENA SATIVA* L.)

Renáta Sándor*, Eszter Sugár, Tamás Árendás, Péter Bónis, Nándor Fodor
*Agricultural Institute, Centre for Agricultural Research,
Brunsztvík u. 2, 2462 Martonvásár (Hungary)*

* Corresponding author. E-mail: sandor.renata@atk.hu

Agricultural crop production must be increased to meet food demand for a growing population and increasing animal consumption. On the other hand, there is a need to improve soil quality and enhance carbon storage in soils and biomass under a changing climate. For this reason, a spring oat (*Avena sativa* L.) trial was established under minimal tillage and conventional ploughing management systems at Martonvásár (Hungary) in 2020. The changes of soil temperature and soil moisture content were monitored at 5, 25 and 45 cm depths, besides meteorological data and plant measurements such as, crop yield, leaf area index (LAI), normalized difference vegetation index (NDVI) and chlorophyll content (SPAD).

The spring of 2020 was extreme: a relatively cold weather was combined with a 89-day-long drought period, when 47.2 mm rainfall was recorded until 14 June. The conventional ploughing system had ~17% more crop yield on average, 2002 ± 130 kg ha⁻¹ compared to minimal tillage system. It seems that, spring cereals (such as oat) could yield higher amount of crop production under conventional ploughing cultivation system when the spring period (March, April and May) is very dry and relatively cold.

Key words: spring oat, soil temperature, soil water content, Hungary, tillage, minimal tillage

Introduction

There is a need to adapt to climate change in agricultural systems to meet the global increasing demand for agricultural products. Because of the more frequent and more severe extreme weather conditions, there is a huge challenge to select the most productive management option.

Contrary to the traditional ploughing management there is an increasing interest in minimal tillage systems. Minimum tillage is a soil conservation system with the aim of minimum soil manipulation necessary for a successful crop production. The intensive tillage changes the soil structure using ploughs while the minimum tillage method hardly turns the soil over. Several studies (Lal, 1997; Pretty, 2008; Branca et al., 2013) suggest that the minimal tillage practice can generate benefits, by improving soil fertility and structure, conserving soil and water and can lead to increased productivity and stability of agricultural production systems. Also, the reduced disturbance of the soil structure may decrease emission rates of carbon dioxide, nitrous oxide and methane (Fortin et al., 1996; Ussiri et al. 2009).

The oat (*Avena sativa* L.) is a species of cereal grain, which is suitable for human consumption as oatmeal and oat milk, but it is used as livestock feed most commonly. Global production of oats was 23.1 million tonnes in 2018 (FAO, 2020).

The objective of present study was to analyse the impact of conventional cultivation and minimum tillage system on oat development and production.

Material and Methods

A spring oat (*Avena sativa* L.) field trial was established at Martonvásár, Hungary, under ploughing and minimal tillage managements in 2020. The chernozem soil of the experiment is non acidic loam with deep A horizon with 1.96–2.26 m% humus content.

Spring oat was sown on 17 March 2020 and harvested on 22 July 2020. The size of the investigated area was 70×72 m divided into two equal parts for conventional ploughing and minimal tillage area. Samples were taken in four repetitions in each management treatments.

Besides productivity and plant measurements such as crop yield, leaf area index (LAI), normalized difference vegetation index (NDVI) and chlorophyll content (SPAD), soil temperature and soil water content were also measured at 5, 25 and 45 cm depths with TEROS 11 sensors (METER Group, Inc). LAI was measured with LP-80 ceptometer (METER Group, Inc) and when the photosynthetically active radiation (PAR) was less than 1700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, the correction method of Pokovai and Fodor (2019) was applied. The chlorophyll content was determined by using SPAD-502 Chlorophyll Meter (Konica Minolta, Inc). NDVI was measured with a Trimble GreenSeeker® handheld crop sensor (Zhu et al., 2012).

R Studio (RStudio Team, 2016) was used for statistical computing and graphical visualization.

Results and Discussion

The difference between the development of oat seedlings under conventional and minimal tillage was considerable (Figure 1). Because of the dry and relatively cold spring (Figure 2) the seedbed was too rough under minimal tillage system for uniform steady germination.

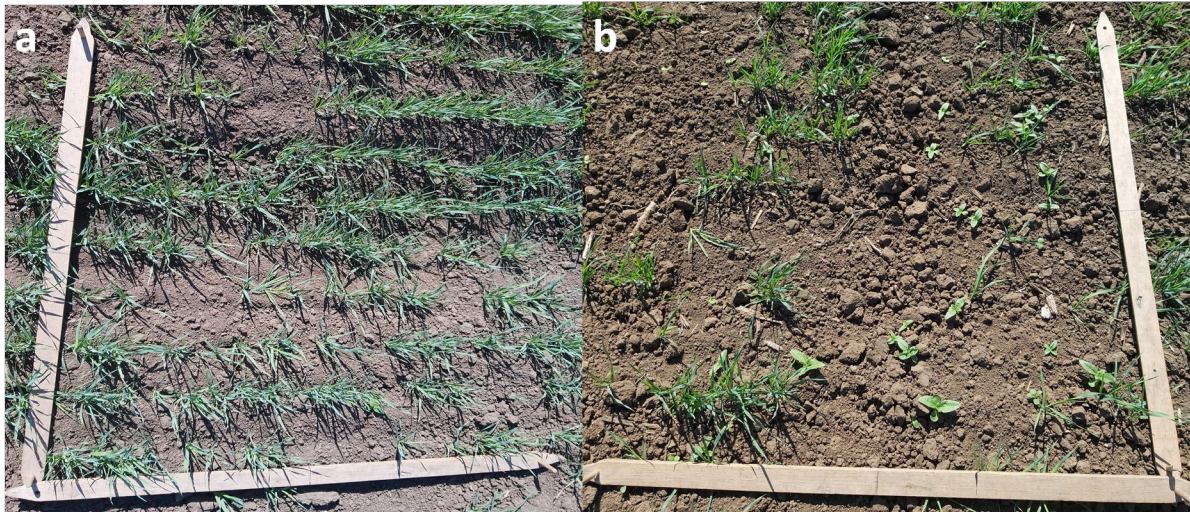


Figure 1.: Spring oat (*Avena sativa* L.) under ploughing (a) and minimal tillage (b) managements at Martonvásár (Hungary) on 21 April 2020.

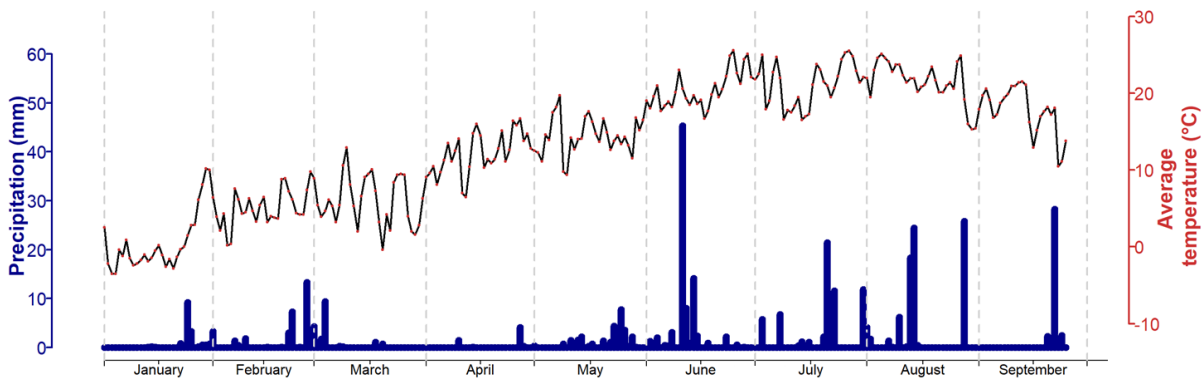


Figure 2.: Daily precipitation (mm) and average temperature (°C) at Martonvásár in 2020.

The oat seeds had a second germination period in June when higher amount of precipitation arrived, but it was too late for growing and increasing the amount of crop yield. The LAI and NDVI values showed big difference between the conventional ploughing and minimal tillage managements (Table 1.) which difference tended to decrease in June. The chlorophyll content (which is related to SPAD value) was similar under the two managements. However, the average crop yield was 16.9% less under the minimal tillage (Table 1.) management, $1662 \pm 19 \text{ kg ha}^{-1}$, compared to $2002 \pm 130 \text{ kg ha}^{-1}$.

Table.1: Differences between measured LAI, NDVI, SPAD, Harvest index and Crop yield values between the two applied managements at Martonvásár (Hungary) during the vegetation period of 2020.

Date (mm/dd/yyyy)	Measured variable	Management	
		Conventional ploughing	Minimum tillage
05/18/2020	LAI	1.31±0.12	1.05±0.18
	NDVI	0.53±0.06	0.37±0.09
	SPAD	38.25±2.51	38.93±5.11
06/03/2020	LAI	2.51±0.18	1.69±0.21
	NDVI	0.65±0.03	0.58±0.04
	SPAD	52.30±3.90	53.30±3.18
06/08/2020	LAI	2.67±0.17	2.15±0.16
	NDVI	0.63±0.04	0.65±0.02
	SPAD	52.30±3.90	53.30±3.18
06/23/2020	LAI	1.99±0.33	1.35±0.13
	NDVI	0.62±0.04	0.64±0.04
07/22/2020	Harvest index Yield (kg ha ⁻¹)	0.40±0.02 2002±130	0.35±0.04 1662±19

This yield loss in both treatments could be the result of the combined effect of colder and dryer spring period, when the soil moisture content was below 0.18 m³m⁻³ until 14 June 2020 (Figure 3.). For this reason, the germination rate was low, especially under minimal tillage system (Figure 1.). Besides soil water content, the soil temperature was also relatively low until June (Figure 3.), which also delayed the development of the oat seedlings.

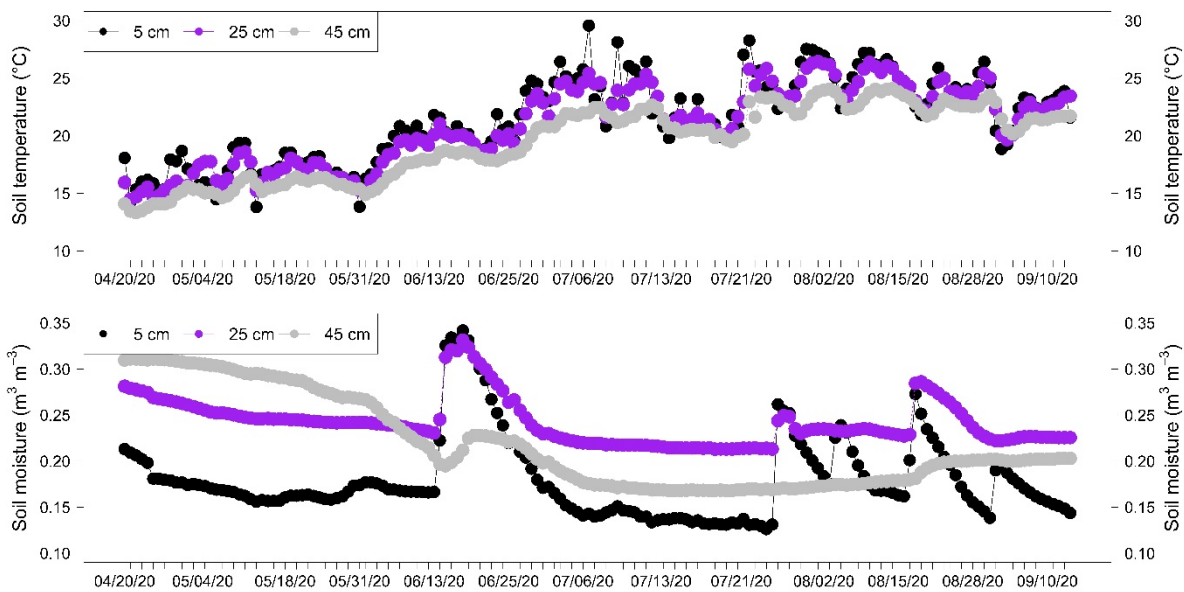


Figure 3.: Temporal changes of soil temperature (°C) and soil moisture content (m³m⁻³) in 5, 25 and 45 cm depths across managements at Martonvásár (Hungary) during the vegetation period of 2020 (mm/dd/yy).

Conclusions

The vegetation period in the Carpathian Basin in 2020 was extreme with a relatively cold spring that was combined with an extreme dry and prolonged period. After the sowing (17 March), only 47.2 mm rainfall was recorded until 14 June. The 89-day-long drought period caused yield loss at both oat managements, but mainly under minimal tillage system. The upper ~15 cm layer was cultivated under the minimal tillage system, while the ploughing cultivation provided deeper (~30 cm) cultivated layer which was more favourable for oat seedlings owing to better water supply. The conventional ploughing system had ~17% more crop yield on average, $2002 \pm 130 \text{ kg ha}^{-1}$. It seems that spring crops (such as oat) provide higher yields under conventional ploughing cultivation compared with minimal tillage system when the spring period (March, April and May) is very dry and relatively cold.

Acknowledgements

This work was supported by the OTKA-131813 project.

References

- Branca, G., Lipper, L., McCarthy, N. and Jolejole, M.C. (2013): Food security, climate change, and sustainable land management. A review. *Agronomy for Sustainable Development* volume 33: 635–650
- FAO (2020): Oats production in 2018, Crops/World Regions/Production Quantity from pick lists. Food and Agriculture Organization, Statistics Division, FAOSTAT.
- Fortin, M-C., Prochette, P. And Pattey, E. (1996): Soil Carbon Dioxide Fluxes from Conventional and No-Tillage Small-Grain Cropping Systems. *Soil Science Society of America Journal*. Volume 60 (5): 1541-1547. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000050036x>
- Lal R (1997): Degradation and resilience of soils. *Phil Trans R Soc London B* 352:869–889. doi:10.1098/rstb.1997.0078
- Meter Group (2019): Canopy interception and leaf area index. Accurate canopy analysis in realtime. <https://www.metergroup.com/environment/products/accupar-lp-80-leaf-area-index/> (assessed on 25. October 2019)
- Pokovai K. and Fodor, N. (2019): Adjusting ceptometer data to improve leaf area index measurements. *Agronomy* 9(12), 866. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120866>
- Pretty, J.N. (2008): Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Phil Trans R Soc London B* 363(1491):447–466. doi:10.1098/rstb.2007.2163
- R Core Team, 2016. *Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria <http://www.R-project.org>.
- Ussiri, D., Lal, R., Jarecki, M.K. (2009) Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. *Soil Tillage Res* 104:247–255. doi:10.1016/j.still.2009.03.001
- Zhu, J., Tremblay, T., and Liang, Y. (2012): Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Can. J. Soil Sci.* 92(4), 645–648. <https://doi.org/10.4141/cjss2011-100>

**РОЛЬ ХИМИЧЕСКОГО И ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОЧВ
САМОЗАРАСТАЮЩИХ И РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ КАРЬЕРОВ В
ФОРМИРОВАНИИ СОСТАВА И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
МИКРОБИОМА**

Е. В. Абакумов, Е. А. Иванова, Е. Е. Андронов, А. К. Кимеклис,
Г. Д. Гладков, А. О. Зверев, Е. В. Евдокимова, В. И. Поляков
Санкт-Петербургский государственный университет

Почвообразующие породы являются ключевым фактором пространственно-временной дифференциации почвенного покрова и дивергенции экосистемных функций в процессе эволюции почв. В работе показано, что химический и вещественный состав пород влияет также на таксономический состав микробиома почв.

**THE ROLE OF THE CHEMICAL AND MINERAL COMPOSITION OF THE
SOILS OF SELF-GROWING AND RECLAIMED QUARRIES IN THE
FORMATION OF THE COMPOSITION AND FUNCTIONAL
ORGANIZATION OF THE MICROBIOME**

E. V. Abakumov, E. A. Ivanova, E. E. Andronov, A. K. Kimeklis, G. D. Gladkov,
A. O. Zverev, E. V. Evdokimova, V. I. Polyakov
Saint Petersburg State University

Parent materials are a key factor in the space-time differentiation of the soil cover and divergence of ecosystem functions in the process of soil evolution. The work shows that the chemical and mineral composition of rocks also affects the taxonomic composition of soil microbiome.

Введение

Хроносери́и почв используются для оценки скоростей линейной эволюции почв и почвенных процессов в различных субстратно-фитоценологических комбинациях на территориях карьерно-отвалных комплексов. Разновозрастные почвы на одном типе почвообразующей породы могут быть информативными и для микробиологических исследований (Иванов и др., 2015). Почвы одного возраста на разных типах почвообразующих пород также являются интересной моделью для микробиологических исследований (Persina et al, 2020). Новые методы высокопроизводительного метагеномного секвенирования позволяют получать исчерпывающие данные о таксономическом составе

Материалы и методы

Проведены лабораторные метагеномные исследования проб почв хроносери́й разновозрастных подзолов формирующихся на отвалах карьеров по добыче песчано-гравийных отложений. Данный объект представляет четкий эволюционный ряд моногенетического развития почв на кислых песчаных почвообразующих породах. Карьерно-отвальный комплекс расположен в окрестностях пос. Малукса Кировского р-на Ленинградской области. Ранее свойства почв этой хроносери́и были описаны Е. В. Абакумовым (Абакумов, 2010). Второй объект исследования расположен в Кингисеппском р-не Ленинградской области на территории заброшенного карьера № 3 ПО «Фосфорит». Почвы участков рекультивации в р-не карьера № 3 ПО «Фосфорит» представлены карбо-литоземами. Детальная характеристика почв дана в работе Я. А. Дмитраковой с соавт (Дмитракова и др., 2016). Изучены почвы карбо-литоземного типа под сосной, лиственницей и елью. Содержание подвижного фосфора и нитратов более чем в два раза больше на участке под лиственницей по сравнению с аналогичными горизонтами других участков. Реакция рН водной вытяжки на первом участке, под елью, слабокислая, на остальных – слабощелочная. По гранулометрическому составу реплантоземы характеризуется как средние суглинки. Таким образом изучен хроноряд и литоряд почв, что позволяет изучить пространственно-временные закономерности динамики микробиома почв в условиях Северо-Запада.

Для проведения молекулярно-биологического анализа пробы замораживались и хранились в коллекции при -70°C . После чего из всех проб была выделена ДНК, сформированы ампликонные библиотеки гена 16S рРНК (анализ бактериального и археотного компонентов сообщества), проведена реакция количественной ПЦР для определения численности основных групп микроорганизмов в почвенных образцах (бактерии, грибы, археи). Ампликонные библиотеки подвергались высокопроизводительному секвенированию на приборе ILLUMINA MiSeq. Было произведено удаление из библиотек всех служебных последовательностей, осуществлена сборка парноконцевых

прочтений, проведена проверка качества нуклеотидных последовательностей. После проведения процедуры нормализации данных, последовательности с долей сходства, превышающей 97%, объединяли в операционные таксономические единицы – operational taxonomic units (OTU) и проводили их таксономическую идентификацию.

Для оценки биоразнообразия и проведения сравнительного анализа сообществ рассчитывали параметры α - и β -разнообразия. Данные β -разнообразия визуализировали с использованием метода главных компонент (PCoA). С использованием теста Мантеля был произведен расчет корреляции состава сообщества с содержанием в почве основных химических элементов (C,N,P,K).

Результаты и обсуждение

Хроносерия почв на кислых породах. При сравнительном анализе эмбриопodzола, а также предклимаксовой и климаксовой стадии почв было установлено постепенное увеличение численности бактерий, грибов (преимущественно в верхних частях профиля) и архей (в минеральных горизонтах) в ходе развития почвообразовательного процесса. Число ОТЕ (операционных таксономических единиц, альфа-разнообразие) достоверно снижалось на поздних стадиях сукцессии. При анализе бета-разнообразия была проиллюстрирована эволюция микробиома, сопряженная с дифференциацией генетических горизонтов и почвенных профилей: на начальной стадии сукцессии микробиомы «зарождающихся» почвенных горизонтов имели сходную структуру, по мере развития почвы наблюдалось все более явная дифференциация микробиомов, соответствующих определенным генетическим горизонтам. Сообщества ранних стадий сукцессии имели более богатый таксономический состав, по сравнению с сообществами более поздних стадий. В их состав входили филы, состоящие в основном из слабоохарактеризованных и, по большей части, некультивируемых бактерий: Patescibacteria, Nitrospira, Gemmatimonadetes, Latescibacteria, Enttheonellaeota; также здесь отмечалось сравнительное увеличение обилия архей группы Thaumarchaeota (до 11%). Для

сообществ поздних стадий сукцессии характерно увеличение доли типичных почвенных фил - Verrucomicrobia, Firmicutes, Actinobacteria. В ходе эволюции органогенного горизонта О отмечалась смена таксономического состава ацидобактерий, в эмбриональной почве доминировали в основном ацидобактерии из сем. Vlastocatellaceae, а также pp. Subtercola и Arthrobacter, в то время как в почвах более поздних стадий сукцессий бактерии pp. Acidicapsa, Oscalatiibacter, Bryobacter и Candidatus Solibacter, при этом в почвах климаксовой стадии разнообразие ацидобактерий увеличивалось на порядок. Происходила смена сообществ микроорганизмов-копиотрофов (Pedobacter (Bacteroidetes), Candidatus Saccharibacteria (Patescibacteria), Comamonas, Variovorax (Proteobacteria)) на сообщества микроорганизмов-олиготрофов (фил Chloroflexi, Planctomycetes, Verrucomicrobia, Bacteroidetes (сем. Cytophagales), Proteobacteria (сем. Acetobacteraceae, Caulobacteraceae, Micropepsaceae) и др.). Наряду с общим повышением уровня разнообразия увеличивалась доля почвенных бактерий, ассоциированных с корнями растений, а именно, бактерий из рода Bradyrhizobium и Burkholderia, а также сем. Cytophagaceae. Наиболее яркие изменения связаны с увеличением доли протеобактерий из группы WD260 в климаксом сообществе. Эволюция подзолистого (Е) горизонта во многом напоминала эволюцию органогенного горизонта, главным отличием было увеличение обилия и разнообразия ацидобактерий. Было проведено выделение ДНК и РНК в образцах трех разных генетических горизонтов (О, Е и ВС) эмбриопodzола. Анализ альфа-разнообразия не выявил значимых различий между образцами ДНК и РНК, однако анализ бета-разнообразия выявил существенные качественные и количественные различия в таксономическом составе микробиомов сравниваемых образцов. Таксономический анализ выявил присутствие суперфилы Patescibacteria и филы Thaumarchaeota только на уровне ДНК. Увеличение доли филы Proteobacteria во всех трех горизонтах происходит за счет увеличения разнообразия доминирующих групп бактерий – для горизонта О и Е это бактерии из группы RGPB (plant-growth promoting bacteria) – Bradyrhizobium и Comamonas, для горизонта ВС – бактерии из рода

Stenotrophomonas. В горизонте ВС при анализе ДНК библиотек было обнаружено достаточно разнообразное микробное сообщество, состоящее из типичных почвенных бактерий – представителей фил *Acidobacteria* и *Bacteroidetes*, в то время как на уровне РНК эти данные не были подтверждены. Однако в данном горизонте выделялось два отчетливых пика численности цианобактерий *Nostoc* PCC-73102 и альфапротеобактерий р. *Bradyrhizobium*, присутствие которых может объясняться «заносом» этих групп микроорганизмов из вышележащих почвенных горизонтов.

Таким образом, модель экогенетической эволюции подзолов от нулевой стадии до стадии климаксного подзола охарактеризована с помощью методов почвенной метагеномики впервые, что позволило выявить основные микробиологические драйверы начального почвообразования. Полученные данные в будущем могут быть использованы для разработки природоподобных технологий рекультивации техногенно-нарушенных земель.

Одновозрастные почвы рекультивированного карьера ПО «Фосфорит» под различными фитоценозами. Анализ ПЦР в реальном времени трёх групп микроорганизмов по трём испытательным участкам выявил небольшие различия по количеству рибосомальных оперонов бактерий и архей. Показатели альфаразнообразия и численности микробиомов были сопоставимы на всех участках. При этом на участке под сосной зафиксировано достоверное увеличение количества выявленных OTU и филогенетического разнообразия микробного сообщества.

При анализе уровней разнообразия доминирующих в микробиомах бактериальных фил – *Proteobacteria*, *Actinobacteria* и *Acidobacteria* – было отмечено несколько закономерностей. Наибольшее разнообразие актинобактерий было отмечено для микробиомов, сформированных под ельником-мертвопокровником, причем количество ОТЕ данной группы бактерий значимо уменьшалось в ряду ель > сосна > лиственница. Разнообразие протеобактерий, напротив, было максимальным в варианте с посадками лиственницы, и минимальным в варианте елового фитоценоза. Стоит отметить

также достоверный минимум филогенетического разнообразия протеобактерий (индекс Фейта) для микробиома елового леса, достоверный максимум количества выявленных ОТЕ в варианте с высаживанием сосны и максимум индекса Шеннона на участке с лиственницей). Последнее может свидетельствовать о наибольшей «выровненности» в представленности различных видов протеобактерий в фитоценозе, сформированным под покровом сосны. Для представителей филы Acidobacteria также сохранялась общая тенденция увеличения разнообразия и обилия на участке с посадкой сосны. В данном варианте отмечены достоверные максимумы филогенетического разнообразия (индекс Фейта) ацидобактерий и индекса Chao1, характеризующее максимальное обилие («richness») данной группы бактерий на участке № 3 по сравнению с остальными вариантами. При анализе ампликонных библиотек гена 16S рРНК бактерий и архей, с учетом нормализации библиотек, было идентифицировано 220 910 нуклеотидных последовательностей. Доминирующими филлами были Proteobacteria (29,6–37%), Actinobacteria (12,8–25,2%) и Acidobacteria (12,3–20,8%), далее следовали представители фил Chloroflexi (4,6–11,8%), Planctomycetes (5,7–8,2%), Bacteroidetes (4,9–9,2%), Verrucomicrobia (3,9–5%), Gemmatimonadetes (2,1–3,8%); доля остальных была менее 1%. Стоит отметить сравнительно низкую представленность (0,1%) и низкое разнообразие архей, представленных группами Crenarchaeota и [Parvarchaeota]. В целом, состав фил на разных участках совпадал, но стоит отметить, что на участке № 1 было повышенное относительно других количество представителей группы Actinobacteria и пониженное – группы Acidobacteria.

Заключение

Таким образом, для всех почв карьеров Ленинградской области характерно наличие общих филумов микроорганизмов, что связано с доминированием бореального микробиома в подзоне южной тайги. Тем не менее, в составе микробиома почв наблюдаются и существенные различия, связанные с кислотнo-основными свойствами и гранулометрическим составом почв, а также с типом фитоценоза на различных стадиях сукцессии.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 17-16-01030.

Список литературы

1. Иванов И. В., Александровский А. Л., Макеев А. О., Булгаков Д. С., Абакумов Е. В., Архангельская Т. А., Белобров В. П., Борисов А. В., Борисова О. К., Васенев И. И., Величко А. А., Водяницкий Ю. Н., Воробьева Г. А., Гагарина Э. И., Герасименко Н. П., Голеусов П. В., Гольева А. А., Губин С. В., Демкин В. А., Демкина Е. В., Демкина Т. С., Десяткин Р. В., Дмитрук Ю. М., Ельцов М. В., Зайдельман Ф. Р., Замотаев И. В., Карманов И. И., Карпачевский Л. О., Каширская Н. Н., Ковалева Н. О., Ковда И. В., Кудеяров В. Н., Лисецкий Ф. Н., Любимова И. Н., Можарова Н. В., Морозова Т. Д., Песочина Л. С., Прокашев А. М., Русанова Г. В., Скворцова Е. Б., Сычева С. А., Удальцов С. Н., Фрид А. С., Хомутова Т. Э., Хохлова О. С., Чендев Ю. Г., Чижикова Н. П., Якимов А. С. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М.: ГЕОС, 2015. 915 с.
2. Абакумов Е. В., Дмитракова Я. А. Восстановление почвенно-растительного покрова на участках рекультивации Кингисеппского месторождения фосфоритов // Почвоведение. 2018. № 5. С. 630–640.
3. Pershina, E., Ivanova, E., Kimeklis, A., Andronov, E., Abakumov, E. Soil microbiomes of reclaimed and abandoned mines of the Yamal region. Polish Polar Research, 41(1) (2020), p. 9
4. Abakumov, E., Trubetskoj, O., Demin, D., Celi, L., Cerli, C., Trubetskaya, O. Humic acid characteristics in podzol soil chronosequence. Chemistry and Ecology, 26 (2010), p. 59–66.

**ТВЁРДОСТЬ, ВЛАЖНОСТЬ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
ТЁМНО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ПОД РАЗНЫМИ КУЛЬТУРАМИ СЕВООБОРОТА**

А. А. Ананьев, С. В. Железова

*ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет –
МСХА им. К. А. Тимирязева*

В условиях северо-востока Ростовской области на темно-каштановой почве под залежью, люцерной, озимой пшеницей и в чистом пару рассмотрена пространственная и профильная (по слоям) вариабельность интегральных агрофизических показателей почвы – твёрдости (сопротивления пенетрации) и удельного электрического сопротивления (УЭС).

Ключевые слова: твёрдость почвы, удельное электрическое сопротивление, залежь, озимая пшеница

**PENETRATION RESISTANCE, MOISTURE AND ELECTRICAL
RESISTANCE OF ROSTOV REGION KASTANOZEMS
UNDER DIFFERENT CROPS**

A.A. Ananayev, S.V. Zhelezova.

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

The spatial and soil-profile variability of the soil hardness (penetration resistance), electrical resistivity and moisture were compared under the old sod field, alfalfa, winter wheat and black fallow in the conditions of the north-east side of the Rostov region. The soil is dark kastanozem. Hardness, or penetration resistance was measured with soil penetrometer Eijkelkamp and electrical resistivity was measured by LandMapper (vertical-deep sounding). Variability of the soil agrophysical properties was surveyed on the experimental plots under different crops and tillage systems to compare crop-growing conditions under them. All properties were measured at the 46 point on the fields at the early spring, the end of march 2020. Penetration resistance, electrical resistivity and percentage weight moisture strongly depended on the crops and type of treatment (tillage) in the layer of 0...20 cm, and these soil properties in the layers 40...100 cm slightly depended on the type of crop or vegetation, and are determined by other factors of pedogenesis. Soil hardness (penetration resistance) and electrical resistivity are the important agrophysical indicators that can be measured quickly in the field, so they can serve as an assessment of the heterogeneity of the fertility of dark kastanozem soil within the field.

Введение

При переходе к концепции точного (координатного) земледелия необходимо учитывать неоднородность плодородия почвы в пределах каждого поля. Для картографирования и первичного учёта вариабельности почвенного покрова успешно применяют интегральные агрофизические показатели состояния почвы, такие, как удельное электрическое сопротивление (УЭС) и

твёрдость, или сопротивление пенетрации (СП) (Оленченко и др., 2019; Поздняков, 2008; Luck и др., 2018; Медведев, 2009). Использование таких экспресс-методов позволяет получить репрезентативную информацию о гетерогенности различных слоев почвы, не нарушая её естественного сложения, а также, сокращая временные затраты на проведение исследований в несколько раз (Субботина, Батъе-Салес Хорхе, 2013; Железова, Самсонова, 2014). В дальнейшем, полученная пространственная информация, может использоваться «напрямую» в картах-предписания, или «косвенно», как основа для более подробного изучения агрохимических и агрофизических показателей почвы.

Использование различных культур в севообороте с соответствующими технологиями возделывания наряду с введением в севооборот залежных земель, как напрямую, так и через процессы почвообразования приводят к изменению важнейших показателей почвы: содержания органического вещества, гранулометрического состава, плотности сложения и влажности, что влечет за собой изменение электрических и физико-механических параметров (Гармашов и др., 2019; Федоров, Бычков, 2019; Солодовников и др., 2020). В свою очередь, применение агрофизических экспресс-методов диагностики почвы позволяет оценить неоднородность почвенных условий на полях.

Цель исследования: сравнить показатели твёрдости (СП), влажности и УЭС темно-каштановой почвы в начале вегетации при возделывании разных сельскохозяйственных культур и различных предшественниках.

Материалы и методы

Исследование проведено на производственных сельскохозяйственных полигонах, расположенных на северо-востоке Ростовской области (Цимлянский район) в апреле 2020 года. Почва опытного участка представлена тёмно-каштановыми слабосмытыми слабосолонцеватыми тяжелосуглинистыми почвами на лессовидных суглинках. На производственных полях было выделено 5 участков вариантов опыта (табл.), общей площадью 76 га.

Таблица. Варианты опыта

№ и название варианта (Культура 2020 года)	Год и предшественник			
	2019	2018	До 2018	Объём выборки, точек
1. Залежь (Зж)	Залежь	Залежь	Залежь	6
2. Чистый пар (Чп)	Залежь	Залежь	Залежь	8
3. Люцерна (Лц)	Люцерна 3 г.п.	Люцерна 2 г.п.	Люцерна 1 г.п.	6
4. Оз. пшеница (Оп-1)	Оз. пшеница	Чистый пар	Севооборот	20
5. Оз. пшеница (Оп-2)	Оз. пшеница	Залежь	Залежь	8

Измерение удельного электрического сопротивления проводили методом горизонтального электрического профилирования четырехэлектродной схемой электродов AMNB при помощи прибора LandMapper ERM-02 (Поздняков, 2012). На каждом участке было заложено не менее шести точек, с измерением УЭС на глубину 0–100 см с шагом глубины 20 см. В каждой точке и на каждой глубине измерения проводили в 4-х кратной повторности. Общее количество точек – 48.

В этих же точках проводили измерение твёрдости СП почвы ручным пенетрометром Eijkelkamp на глубину 0–50 см с шагом 10 см. Единицы измерения прибора: Ньютоны на см² (Н/см²). В каждой точке и на каждой глубине измерения проводили в 3-х кратной повторности.

Пробы почвы для определения влажности отбирали ручным буром пробоотборником по слоям 0–20, 20–40, 40–50 см.

На каждом участке (варианте опыта) для разных слоев почвы вычисляли среднее значение и 95%-ный доверительный интервал среднего для показателей влажности, СП и УЭС.

Результаты и обсуждение

В результате проведения исследования были получены количественные оценки твёрдости СП, влажности и УЭС почвы под различными культурами севооборота, характерными для северо-востока Ростовской области

От поверхности почвы вниз по её профилю удельное электрическое сопротивление почвы закономерно уменьшается, а твёрдость – увеличивается (рис. 1). В то же время отмечена достаточно высокая вариабельность и УЭС, и твёрдости почвы как между участками, так и между исследуемыми слоями.

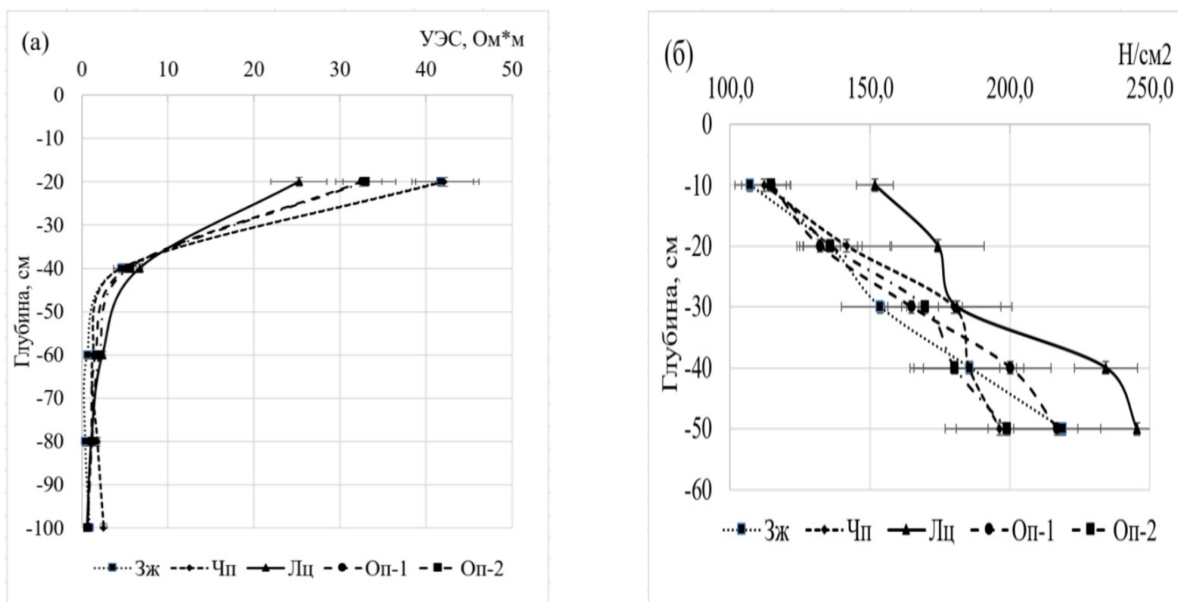


Рис. 1. Агрофизические свойства почвы, изменяющиеся вниз по профилю: (а) – удельное электрическое сопротивление (Ом м); (б) – твёрдость, сопротивление пенетрации (Н/см²)

В целом, УЭС изменяется от 25,23...42,14 Ом м в слое 0...20 см и резко снижается до 0,61...2,53 Ом м на глубине 40 см и глубже. Однако не все варианты показывают постоянное снижение УЭС: на вариантах Залежь (Зж) и Чистый пар (Чп) электрическое сопротивление несколько повышается на глубинах 80 и 100 см. Возможно, это обусловлено изменениями гранулометрического состава в сторону увеличения песчаной фракции или разной концентрацией легкорастворимых солей в разных точках обследования. По различным вариантам опыта есть достоверные отличия по УЭС в слое 0...20 см. Вариант Люцерна (Лц) также показывает достоверные отличия электрического сопротивления на глубине 40 см.

Твёрдость почвы достоверно на всех вариантах увеличивается с глубиной (рис. 1, б) и составляет 107,0...151,7 Н/см² в слое 0...20 см и 196,3...245,3 Н/см² в слое 40...50 см. На варианте Люцерна (Лц) сопротивление пенетрации почвы практически на всех глубинах (за исключением глубины 30 см) превышает СП на остальных вариантах опыта. На вариантах Чистый пар (Чп), Озимая пшеница (Оп-1 и Оп-2) можно отметить более резкое увеличение твёрдости с переходом в слое 20–30 см, так как механические обработки на этих полях проводятся до глубины 25 см.

Влажность почвы также зависела от вида возделываемой культуры (рис. 2). По разным вариантам опыта и слоям влажность изменяется от 16,7...23,3%.

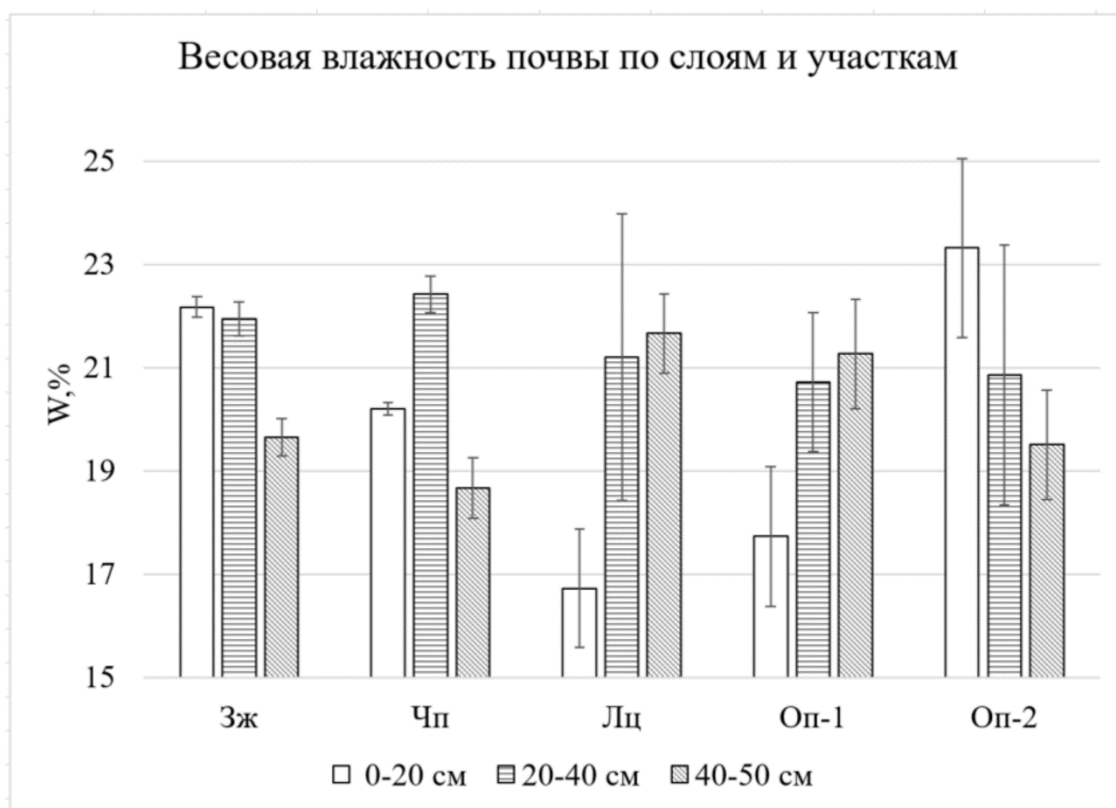


Рис. 2. Влажность почвы по слоям и вариантам опыта

Статистически значимы различия по влажности почвы в слое 0...20 см практически по всем вариантам опыта, заметно, что большей влажностью в этом слое обладают варианты Залежь (Зж) и Чистый пар (Чп). Следует отметить, что наиболее высокие значения влажности почвы были отмечены на варианте Озимая пшеница по залежи (Оп-2). Вероятно, это связано с местоположением данного варианта относительно лесомелиоративных насаждений, что сказалось на более благоприятном удержании осадков в виде снега. В слое 20...40 см значения влажности находятся в пределах от 20,7% до 22,4%, разница между этими показателями не существенная. На этой глубине механические обработки почвы и корневые системы растений уже не оказывают существенного влияния. С дальнейшим углублением до слоя 40...50 см значения влажности почвы были несколько ниже или равны показателям в предыдущем слое. Варианты опыта

Люцерна (Лц) и Озимая пшеница (Оп-1) в слое 40...50 см обладают более высоким содержанием влаги, чем Залежь (Зж) и Чистый пар (Чп).

Выводы

Для тёмно-каштановых почв северо-востока Ростовской области под разными культурами севооборота показано, что твёрдость и удельное электрическое сопротивление могут служить надёжными индикаторами variability агрофизических свойств поверхностного (пахотного) слоя почвы 0...20 см, что в условиях сельскохозяйственного производства является достаточным.

Твёрдость и электрическое сопротивление слоёв почвы на глубинах 20...100 см в меньшей степени зависят от вида выращиваемой культуры или растительности, определяются другими факторами почвообразования, и эти измеряемые в поле агрофизические показатели могут быть использованы для картографирования комплексного почвенного покрова. Весовая влажность почвы также показывает зависимость от возделываемой культуры в слое 0...20 см, но при увеличении глубины исследуемого слоя, точно не определяется.

Профильное распределение удельного электрического сопротивления почвы с глубиной в пределах каждого из изучаемых вариантов не однозначны, так как на электропроводность влияют локальные свойства почвы *in situ*, которые можно оценить с применением классических методов изучения.

Твёрдость и удельное электрическое сопротивление почвы – важные агрофизические показатели, измеряемые в полевых условиях оперативно, поэтому они могут служить оценкой неоднородности плодородия темно-каштановой почвы в пределах поля.

Список литературы

- Оленченко В. В, Смоленцева Е. Н., Заплавнова А. А., Русалимова О. А., Барсуков П. А. Применение геофизических методов для оценки строения и свойств почв черноземного ряда // Почвы и окружающая среда. 2019. Т. 2. № 1. С. 1–32.
- Поздняков А. И. Электрические параметры почв и почвообразование // Почвоведение. 2008. № 10. С. 188–197.
- Luck E., Guillemoteau J., Tronicke J., Rühlmann J. Soil mapping with geolhilus electricus. Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, центральной Азии, Сибири // ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова. 2018. С 92-196.
- Медведев В. В. Твердость почв. Харьков. Изд. КГ1 «Городская типография», 2009, 152 с.
- Субботина М. Г. Батье-Салес Хорхе. Об электропроводности почв в современных исследованиях // Пермский аграрный вестник. 2013. № 3(3). С. 28–33.
- Железова С. В., Самсонова В. П. Пространственная неоднородность электрического сопротивления почвы и ее связь с урожайностью ячменя в полевом опыте центра точного земледелия // Вестник Алтайского ГАУ. 2014. № 6. С. 79–83.
- Гармашов В. М. Корнилов И. М. и др. Твердость почвы и урожайность ярового ячменя на фоне основной обработки и минеральных удобрений // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 10-1(37) С. 128–131.
- Федоров С. Е., Бычков М. В. Мониторинг физико-механических свойств почвы // Современные проблемы территориального развития. 2019. № 3. С. 1–5.
- Солодовников А. П., Пимонов К. И., Гудов Л. А. Влияние основной обработки на водно-физические свойства темно-каштановой почвы и урожайность нута // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 1(37). С. 140–153.
- Поздняков А. И. Елисеев П. И. Русаков А. В. Электрическое сопротивление как возможный показатель окультуренности пахотных супесчаных почв гумидной зоны // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 7. Почвоведение. 2012. №2. С. 54–60.

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ В АГРОЛЕСОЛАНДШАФТАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

В. А. Беспалов, Ю. И. Чевердин, Т. В. Титова

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства

Центрально-Черноземной полосы имени В. В. Докучаева

Исследованию подверглись объекты (залежь, пашня, лесополоса), смежно расположенные на данном участке. Установлено, что под влиянием лесных полос и при введении в сельскохозяйственное использование залежных угодий происходит перегруппировка численности почвенных агрегатов. Содержание глыбистой фракции (>10 мм) в пахотном горизонте от 3 до 14 раз увеличивается по сравнению с залежью и лесной полосой. Доля пылеватой фракции (< 0,25 мм) на пашне, напротив, уменьшается в 2–4 раза, коэффициент структурности снижается от 2 до 13 раз.

EVOLUTIONARY CHANGES OF THE STRUCTURALLY-MODULAR CONDITION OF CHERNOZEMS

V. A. Bespalov, Yu.I. Cheverdin, Titova T.V.

V. V. Dokuchaev Scientific Research Institute of Agriculture of the Central-Chernozem zone

Objects (a deposit, an arable land, a forest belt), adjacently located on the given site were exposed to research. It is established that under the influence of wood strips and at introduction in agricultural use залежных grounds there is a regrouping of number of soil units. The maintenance fractions (> 10 mm) in arable horizon from 3 to 14 times more in comparison with a deposit and a wood strip. The share fractions (<0,25 mm) on an arable land, on the contrary, has decreased in 2-4 times, in times the factor of structure (from 2 to 13 times) has decreased.

Введение. Повсеместное ухудшение структурного состояния и плотности сложения черноземов и других почв, которые в наибольшей степени влияют на урожай, требует организация мониторинга за их изменениями с целью прогноза состояния и качества земель и определения пути оптимизации структурного состава и плотности почв. Систематический контроль за структурным состоянием земель фактически не осуществляется, оценочные критерии и оптимальные параметры структурного состояния конкретных почв не разработаны [1].

Повсеместно отмечается снижение не только качества, но и количества получаемой в данных исследованиях информации. В связи с этим, возрастает актуальность и необходимость проведения детальных наблюдений за изменением структурно-агрегатного состояния черноземных почв в их эволюционном развитии.

Объекты и методы исследований. В 2017–2018 гг. нами была осуществлена закладка опытного участка площадью 1,2 га на плоском водораздельном пространстве для оценки эволюционных изменений структурно-агрегатного состояния черноземных почв в результате длительного антропогенного и агролесомелиоративного воздействия. В качестве объектов изучения выбрали следующие участки плоского водораздела, расположенные в непосредственной близости друг от друга: залежь косимая 1882 г. заповедника № 1; лесополоса № 40; пашня 1952 г. распашки.

Заповедник № 1 расположен между лесной полосой № 40 (с запада) и южным селекционным севооборотом (с востока). Косимая залежь с 1882 г. представлена степной разнотравно-злаковой растительностью, подвергающейся ежегодному скашиванию.

Лесная полоса № 40 полезащитного назначения посажена Н. Я. Михайловым в 1903 г., на момент исследований ее возраст составлял 114 лет. Она расположена с севера на юг на плакорном водораздельном участке поперек господствующим юго-восточным ветрам. Общая площадь древостоя – 8,80 га, протяженность лесной полосы – 746 м, ширина – 118 м. В настоящее время схема древостоя включает в основном дуб (Д), ясень остролистный (Яо), в подлеске встречается единично клен остролистный (Ко) – 4Д 4Яо 2Кяс, ед. Ко. Полнота древостоя составляет 0,9, высота – 17,2–27,3 м [2]. Опушка лесополосы с западной и восточной стороны представлена кленом американским.

Участок пашни, эксплуатируемый с 1952 г., находится в пределах западного селекционного севооборота. После введения в эксплуатацию он использовался для возделывания различных сельскохозяйственных культур, в том числе озимой пшеницы и кукурузы.

Структурный состав определяли по Н. И. Саввинову (фракционирование почвы в воздушно-сухом состоянии) [3].

Результаты и обсуждение. При эволюционном развитии почвенного покрова происходит изменение его структурного состояния. Анализируя данные исследований, проведенных в НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева отмечаем, что при различном антропогенном и лесомелиоративном воздействии происходит перегруппировка численности почвенных агрегатов верхнего обрабатываемого

слоя почвы. Наиболее контрастно изменялась доля глыбистой части фракции (>10 мм). При практическом отсутствии ее в почвах залежи и небольшом содержании в почвах лесной полосы, в пахотных аналогах она резко увеличивалась. Анализ полученных данных показал, что содержание глыбистой фракции в пахотном горизонте от 3 до 14 раз больше по сравнению с залежью и в 3-6 раз выше, чем в лесной полосе № 40 (табл.).

Таблица. Средние значения структурного состава почв Каменной Степи в зависимости от вида и длительности антропогенного воздействия, 2018 г.

Вариант	Глубина, см	Содержание фракций, %; размер, мм										
		>10	10-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25	Σ 10-0,25	Σ > 10+ < 0,25	Kc
1	0-10	2,86	10,70	26,87	32,73	16,78	4,27	3,09	2,71	94,43	5,57	18,89
	10-20	5,69	18,21	20,70	25,93	16,92	3,96	4,40	4,19	90,12	9,88	9,55
	20-40	9,33	17,05	17,80	24,53	16,90	4,51	5,09	4,79	85,87	14,13	6,36
2	0-10	11,85	19,65	16,52	24,13	17,47	4,21	3,63	2,61	85,61	14,46	6,67
	10-20	9,33	21,33	19,21	23,79	15,78	4,66	3,49	2,41	88,26	11,74	7,58
	20-40	11,3	18,59	18,37	24,55	16,10	4,41	4,02	2,65	86,05	13,95	6,51
3	0-10	7,05	20,77	26,78	27,00	12,55	2,58	1,90	1,38	91,57	8,43	11,73
	10-20	6,25	18,12	22,62	27,41	15,74	3,92	3,36	2,58	91,17	8,83	10,98
	20-40	9,86	14,66	19,70	27,52	16,72	4,25	4,12	3,17	86,97	13,03	7,10
4	0-10	11,70	28,77	20,86	19,83	11,94	2,86	2,31	1,71	86,58	13,41	9,02
	10-20	13,82	33,50	20,90	18,17	9,25	2,13	1,27	0,95	85,22	14,78	7,66
	20-40	16,15	29,50	19,30	19,31	10,64	2,29	1,67	1,13	82,71	17,29	5,87
5	0-10	40,31	19,19	9,39	12,77	11,71	3,50	2,11	1,04	58,65	41,35	1,46
	10-20	36,94	21,28	11,92	14,84	10,51	2,51	1,25	0,77	62,30	37,70	1,70
	20-40	25,62	20,57	14,79	18,89	13,48	3,47	2,15	1,03	73,36	26,64	2,76

1 – залежь 1882 г.; 2 – опушка с восточной стороны лесополосы №40; 3 – лесополоса №40; 4 – опушка с западной стороны лесополосы №40; 5 – пашня 1952 г. распашки.

Ухудшение структуры на пашне проявляется в основном за счет увеличения доли глыбистых агрегатов размером более 10 мм. Увеличение плотности сложения после прохода сельскохозяйственных машин, уменьшение количества червей и корневой массы в пахотном слое почвы приводит к образованию глыбистых агрегатов [4].

При рассмотрении доли пылевой фракции ($< 0,25$ мм) отметим, что минимальное ее количество определено на пашне и прилегающей к ней опушке и находится в пределах 1% (табл.). На залежи, прилегающей к ней опушке и в лесной полосе, доля данной фракции значительно выше и составляет 2–4%. По нашему мнению, столь малая величина мелких частиц на пашне объясняется смывом их вниз лежащие горизонты через обилие образовавшихся трещин.

Хочется обратить внимание на уменьшение коэффициента структурности на пашне. При максимальных значениях на залежи он составляет 18,89 %, тогда как на пашне выявлено худшее его значение – 1,46 %. В результате хозяйственной деятельности он уменьшается от 2 до 13 раз по сравнению с залежью (табл.) и от 3 до 10 раз – по сравнению с лесной полосой. Это говорит о хорошей оструктуренности почвы не только на целине, но и под влиянием лесной полосы.

Для почв пашни отмечено минимальное значение содержания агрономически ценных агрегатов ($\Sigma > 10+ < 0,25$) по сравнению с залежью и лесополосой для всех отобранных слоев. Для пашни средние значения колеблются в пределах 60–70%, тогда как для лесной полосы и залежи доля агрегатов размером 0,25–10 мм составляет 85–95 % (табл.).

Обратим внимание, на уменьшение доли каких фракций повлияло на общее уменьшение агрономически ценной структуры. Максимальные изменения на пашне коснулись агрегатов размером 2–3 и 3–5 мм. Их количество уменьшилось по сравнению с залежью и лесной полосой в 2–3 раза (табл.). Рассматривая агрегаты размером 0,25–0,5; 0,5–1 и 1–2 мм, отметим уменьшение их доли на пашне на 30–50 % по сравнению с залежью. Что касается фракции размером 5–10 мм, которая приближена к глыбистым агрегатам, то ее доля в слое 0–10 см увеличилась в два раза как на пашне, так и в лесной полосе по сравнению с залежью. Снижение содержания гумусовых веществ в твердой фазе приводит к образованию мелкоглыбистых агрегатов, которые при высыхании и взаимодействии с кальцием обладают высокой прочностью.

При эволюционном изменении лесной полосы происходит ее разрастание, образование опушки. В нашем опыте можно проследить различие влияния опушек, расположенных с восточной и западной стороны лесной полосы № 40, на долю почвенных агрегатов. И если в слое 0–10 см доля глыбистых агрегатов (> 10 мм) в обеих опушках совпадает и равна около 12% (табл.), то в слоях 10–20 и 20–40 см доля макроагрегатов в западной опушке на 4–5% выше, чем в восточной.

При сравнении доли мезоагрегатов (0,25–10 мм) на западной и восточной опушках, выявляем их равное количество. Но основную лепту там вносят разные фракции. На опушке с восточной стороны лесной полосы № 40 количество агрегатов размером 0,25–0,5; 0,5–1; 1–2 и 2–3 мм больше, чем в почве опушки с западной стороны. Учитывая, что восточная опушка образовалась на месте залежи, исходная почвенная структура здесь сохранилась на должном уровне. На западной опушке, напротив, выше доля агрегатов большего размера: 3–5 и 5–10 мм. Данное обстоятельство можно объяснить большой шириной лесополосы (более 100 м), что создает различный микроклимат и направление ветров. Сама лесная полоса благоприятно влияет на почвенную структуру, которая лишь незначительно отличается по наличию агрономически ценных агрегатов от целинной почвы на залежи во всех трех исследуемых слоях (табл.).

Для того чтобы получить локализацию участков с различной почвенной структурой, нами были построены картосхемы распределения тех или иных структурных агрегатов в пространстве. На рис. представлено распределение агрономически ценных агрегатов (0,25–10 мм) в пределах исследуемого участка. Темноокрашенные области с максимальным содержанием агрономически ценных агрегатов представлены на залежи и в лесной полосе № 40. Далее по убыванию стоит опушка лесной полосы, а минимальные значения с самыми светлыми областями выявлены для пашни.

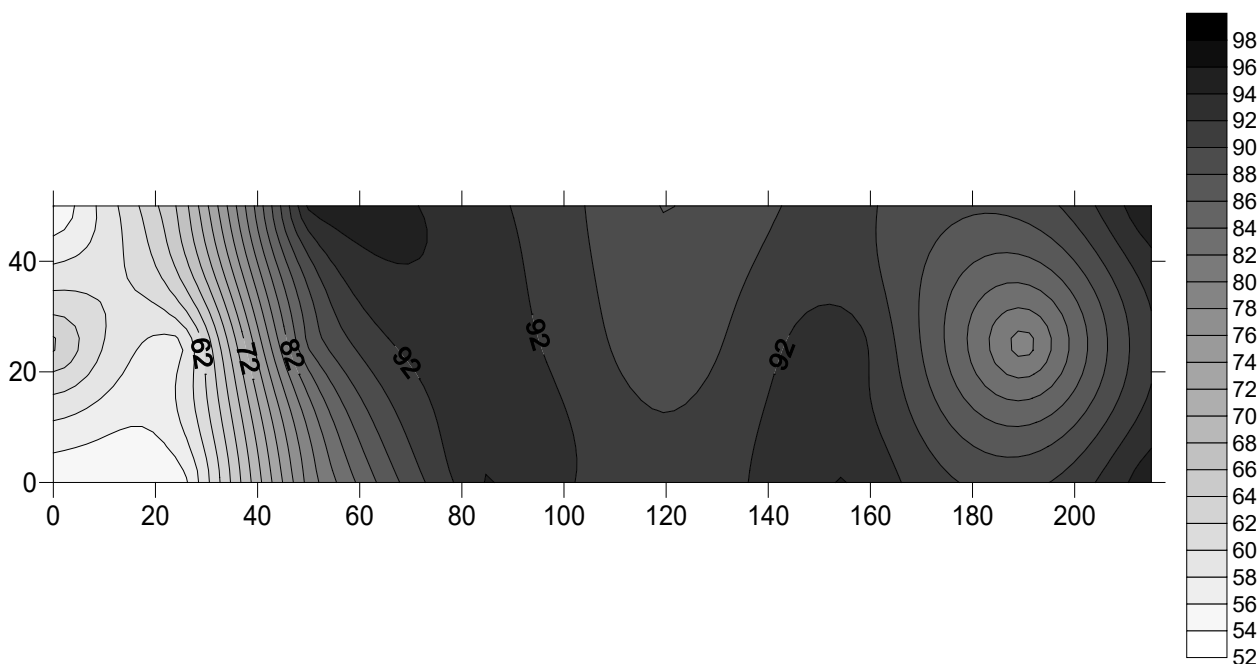


Рис. Распределение агрономически ценных агрегатов в слое 0–10 см, %

Так как он находится в прямой зависимости от количества мезоагрегатов (0,25–10 мм), то визуальное отображение будет аналогично с предыдущим рисунком для всех объектов исследования. Максимальные значения с темноокрашенными областями относятся к залежи. В пределах лесной полосы коэффициент структурности лежит около отметки 11, а минимальные значения с самыми светлыми областями отображены на пашне.

Заключение. Проведенные исследования структурного состояния черноземов с различным характером использования (залежь-лесополоса-пашня) выявили существенное снижение доли агрономически ценных агрегатов в почвах, подверженных интенсивному агрогенному воздействию, и незначительное снижение – в почвах, подверженных лесомелиоративному влиянию.

При введении в сельскохозяйственное использование почв происходит эволюционное изменение структурного состояния почв: от 3 до 14 раз увеличивается доля глыбистой фракции (>10 мм) на пашне по сравнению с залежью и в лесной полосой, в несколько раз уменьшается доля пылеватой фракции (<0,25 мм). В основном ухудшение структуры на пашне проявляется за

счет увеличения макроагрегатов. Также на пашне в 3-14 раз уменьшается коэффициент структурности по сравнению с целинными почвами. Почвы пашен имеют более низкий показатель структурности из-за результатов хозяйственной деятельности человека.

Библиография

1. Агроландшафты Центрального Черноземья. Районирование и управление / В. М. Косолапов, И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова, Е. П. Яковлева. – М.: Издательский Дом «Наука», 2015. – 198 с. – С. 18.
2. Вавин В.С. и др. Создание долговечных защитных насаждений в условиях юго-востока ЦЧЗ / В.С. Вавин и др. – Воронеж, 2007.– С. 124–138 с.
3. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв/ А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
4. Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А., Сапрыкин С.В., Гармашова Л.В., Чевердин А.Ю. Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземов сегрегационных // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 21; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-21/article-2>.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОЧВЫ

А. Г. Болотов¹, Е. В. Шеин^{2,3}

¹*Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева,*

ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Российская Федерация*

³*Почвенный институт имени В.В. Докучаева,*

Пыжевский пер, 7, Москва, 103075, Российская Федерация

Аннотация: Для определения коэффициента фильтрации почв разработана оригинальная конструкция фильтрационного прибора с устройством Мариотта. Количество профильтровавшейся воды определяется по уровню воды в бутылки датчиком влажности. Получена тесная зависимость уровня воды в измерительном сосуде и показаниями датчиков в единицах объемной влажности и удельной электрической проводимости.

MODIFIED METHOD FOR DETERMINING THE SOIL FILTRATION COEFFICIENT

A. G. Bolotov¹, E. V. Shein^{2,3}

¹*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation;*

²*Moscow State University named after M.V. Lomonosov Moscow State University,
Leninskie gory, 1, Moscow, 119991, Russian Federation;*

³*Soil Institute named after V.V. Dokuchaev, Pyzhevsky per, 7, Moscow, 103075,
Russian Federation*

Abstract: To determine the filtration coefficient in field and laboratory conditions, we have developed an original design of a filtration device with a Mariotte device. A distinctive feature of the developed device is that the amount of filtered water is determined by the water level in the bottle with a humidity sensor. These sensors allow you to measure humidity, temperature and electrical conductivity of various media, operating at a frequency of 70 MHz. Such a solution fully automates and unifies the developed module, which will be included in the information-measuring system. A close dependence of the water level in the measuring vessel and the readings of the sensors in units of volumetric humidity and specific electrical conductivity was obtained. Since the value of the specific electrical conductivity will depend on the chemical composition of the water used, the developed level gauge is automatically calibrated at two points with a full and empty vessel: from the touch line of the sensor electrodes, the so-called zero level. Preliminary tests of the created prototype of an automated meter of the filtration coefficient showed its reliability and stability of readings, which makes it possible to include this module in the information-measuring system for monitoring agrophysical parameters.

Фильтрация воды в почве является основой для понимания процессов движения воды в почве. При этом коэффициент фильтрации (K_f) равный потоку влаги при единичном градиенте является постоянной и характеристичной для почвенного объекта величиной. Он относится к фундаментальным, базовым почвенным свойствам. Учитывает специфику порового пространства естественных почв, строение почвенного профиля и множество других особенностей почвенного порового пространства (Теории и методы..., 2007).

Обычно коэффициент фильтрации определяют с помощью метода малых заливаемых площадей. Данный метод является модификацией колонки Дарси с постоянным гидравлическим давлением. В процессе измерения необходимо определять объем профильтровавшейся воды через почву ΔV и время его протекания Δt . Однако поддерживать постоянный уровень воды в рамках довольно трудозатратно и неудобно. Поэтому в ряде устройств: например, в фильтрационном приборе Нестерова, а также в инфильтрометре конструкции Университета Гельф (США) используют так называемое устройство Мариотта, которое позволяет поддерживать постоянный напор воды на поверхности. Принцип его действия прост: стоит уровню воды в раме опуститься за счет выпитывания/фильтрации воды в почву, как пузырек воздуха проникнет в бутылку, и из нее вытечет некоторое количество воды в раму. Это количество воды закроет трубку, и интенсивное вытекание воды из бутылки временно прекратится. В бутылке будет постепенно создаваться разрежение, приближающееся к величине гидравлического напора воды в бутылке. Гидравлический напор воды (h) будет уравновешен разрежением в воздушном пространстве бутылки. Поэтому уровень воды в бутылке (h) не будет оказывать никакого влияния на напор воды в раме. Этот напор будет практически постоянным. Количество профильтровавшейся воды можно легко измерять по уровню воды в бутылке. Данный подход позволяет применять различные конструкции инфильтрометров (Benson et al, 1997; Velkovsky and Karastoyanov, 2009; Sobolewski, 2005). Также очевидно, что во время эксперимента можно допустить некоторые ошибки, как

при измерении объема расходуемой воды, так и при измерении времени ее протекания, что зависит от опыта и квалификации экспериментатора.

Для определения коэффициента фильтрации в полевых и лабораторных условиях нами разработана оригинальная конструкция фильтрационного прибора с устройством Мариотта. Отличительной особенностью разработанного прибора является то, что количество профильтровавшейся воды определяется по уровню воды в бутылки датчиком влажности (5TE и Teros12). Данные датчики позволяют измерять влажность, температуру и электрическую проводимость различных сред, работая на частоте 70 МГц (Болотов, 2017). Диапазон измерения влажности 0–60%, погрешность измерения 2%, время измерения 150 мс, питание: 3,6–15 В при потребляемом токе 0,3 мА. Датчик 5TE позволяет контролировать уровень засоленности почвы путем измерения объемной электрической проводимости. Датчик также может производить измерения объемной влажности в следующих материалах: минеральная почва, перлит, почвенная горшечная смесь, торф, теплоизоляция, опилки, и другие. Диапазон измерения удельной электрической проводимости 0–23 дСм/м.; разрешение 0,01 дСм/м в диапазоне от 0 до 7 дСм/м и 0,05 дСм/м, в диапазоне от 7 до 23,1 дСм/м; погрешность $\pm 10\%$ в диапазоне от 1 до 7 дСм/м. Измерительная схема расположена в герметичном неразборном водонепроницаемом корпусе с тремя зондами. Выходная информация представлена через цифровой интерфейс Serial TTL; или SDI-12, а также аналоговый выход 3,6 В. Разнообразие выходных интерфейсов делает датчики совместимыми с любыми системами сбора данных, что позволяет соединять их в единую сеть для доступа к «облачному» сервису через GPRS шлюзы и одновременно измерять большую группу рассредоточенных устройств в естественной окружающей среде. Данные исследования актуальны при изучении пространственного распределения грунтовых вод; распространения загрязнений вследствие специфики порового пространства и строения почвенного профиля естественных почв; миграционных потоков влаги в почве; особенностей почвенного влагопереноса в масштабах сельскохозяйственного поля.

Подобное решение полностью автоматизирует и унифицирует разработанный модуль, который будет включен в состав информационно-измерительной системы (Болотов, Шеин, 2017, 2019). Получена тесная зависимость уровня воды в измерительном сосуде и показаниями датчиков в единицах объемной влажности (ТН) и удельной электрической проводимости (УЭП) (рис.).

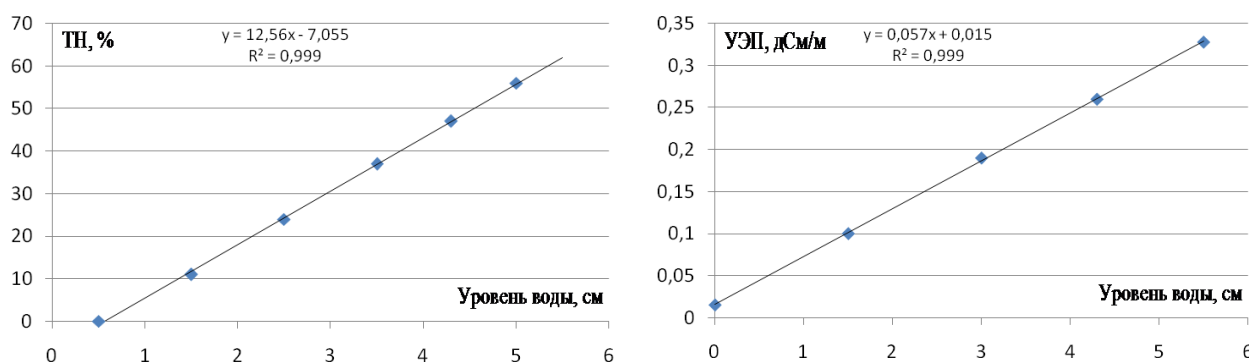


Рис. Зависимость уровня воды (h) в измерительном сосуде фильтрационного прибора и показаниями датчика:
5TE в единицах ТН. Teros12 в единицах УЭП.

Так как величина УЭП зависит от химического состава применяемой воды, предусмотрена автоматическая калибровка разработанного уровнемера по 2-м точкам с полным и пустым сосудом: от линии касания электродов датчика, так называемый нулевой уровень.

Используя подход с применением автоматизированного варианта модуля, можно определить коэффициент фильтрации на основе точного измерения времени инфильтрации и объема с минимальными ошибками, исключая влияние человеческого фактора при измерении. Предварительные испытания созданного макетного образца автоматизированного измерителя коэффициента фильтрации показали его надежность и стабильность показаний, что позволяет включить данный модуль в состав информационно-измерительной системы для мониторинга агрофизических параметров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-05112 мк.

Список литературы

Болотов А.Г. Гидротермическое состояние почв юго-востока Западной Сибири: дисс. ... доктора биол. наук. М., МГУ им. М. В. Ломоносова, 2017. 351 с.

Болотов А.Г., Шеин Е.В. Распределенная агрометеорологическая информационно-измерительная система // Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего: материалы Междунар. науч. конф., посвященной 85-летию Агрофизического НИИ (27-29 сентября 2017 г.). – Санкт-Петербург: СПб.: ФГБНУ АФИ, 2017. – С. 689–691.

Болотов А.Г., Шеин Е.В., Дембовецкий А.В. Средства мониторинга гидротермического режима почв // Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего», посвященной памяти академика Е.И. Ермакова. Санкт-Петербург, 02-04 октября 2019 г. – ФГБНУ АФИ Санкт-Петербург, 2019. – С. 130-137.

Теории и методы физики почв / Под ред. Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского. – М.: Гриф и К, 2007. – 616 с.

Benson C.H., Gunter J., Boutwell G., Trautwein S., Berzanskis P., 1997: Comparison of four methods to assess hydraulic conductivity. Jour. of Geot. and Geoenv. Eng. Vol. 123, No 10: 929-937.

Velkovsky G., Karastoyanov D. A System for Determination of the Filtration Coefficient of Soil and Rock Structures: Problems of engineering cybernetics and robotics, No 61, 2009: 22-29

Sobolewski M. 2005. Various methods of the measurement of the permeability coefficient in soils – possibilities and application, EJPAU 8(2), #13. <http://www.ejpau.media.pl/volume8/issue2/art-13.html>

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ХИМИЧЕСКИМИ МЕЛИОРАНТАМИ

С. Е. Витковская

¹ФГБОУ ВО *Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ)*;

²ФГБНУ *Агрофизический научно-исследовательский институт (АФИ)*

Аннотация: Представлены методические основы закладки и проведения полевых экспериментов с химическими мелиорантами. Показано, что важнейшей задачей является установление доз мелиоранта, которые можно рассматривать как эффективные и экологически безопасные по отношению к физико-химическим свойствам почвы, продуктивности и элементному составу сельскохозяйственных культур. Представлены модели, аппроксимирующие изменение параметров системы почва-растение в зависимости от дозы мелиоранта и времени взаимодействия его с почвой. Показано, что построение зависимостей время-ответ и доза-ответ, характеризующих влияние изучаемых факторов на плодородие пахотных почв и скорость нарастания биомассы позволяет количественно оценить влияние той или иной дозы мелиоранта на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Для описания динамики процессов, протекающих в агроценозе, наиболее подходят три основные модели: линейная, экспоненциальная и сигмоидная (логистическая).

Эффективность химических мелиорантов определяется дозой, почвенно-климатическими условиями и генетическими особенностями сельскохозяйственных культур. Важнейшими методическими задачами полевых экспериментов с любыми мелиорантами являются (Витковская, 2017):

1) Установление эффективности дозы мелиоранта по следующим критериям: влияние мелиоранта (в широком диапазоне доз) на урожайность и качество сельскохозяйственных культур; влияние различных доз мелиоранта на динамику содержания доступных для растений форм тестируемого химического элемента; пролонгированность действия (последствие) различных доз мелиоранта на свойства почвы и биомассу сельскохозяйственных культур.

2) Установление доз мелиоранта, которые можно рассматривать как экологически безопасные. Основные критерии:

- **Элементный состав:** если в составе мелиоранта содержание одного или нескольких химических элементов превышает ПДК (ОДК) для почв, необходимо жестко регламентировать дозы и периодичность его внесения.

- Конкурентные взаимодействия: рекомендуемые к применению дозы мелиоранта не должны приводить к существенному снижению содержания жизненно важных микроэлементов в растениях.
- Влияние на качество структурных компонентов агроэкосистемы: рекомендуемые к применению дозы химического мелиоранта не должны оказывать негативного воздействия на экологическое состояние агроэкосистемы и сопредельных сред.

Решение указанных выше задач возможно при соблюдении следующих условий планирования эксперимента:

1) Опытный участок должен соответствовать следующим основным требованиям: почвенная разность должна быть типичной для региона; участок должен быть однороден по положению в рельефе, уровню залегания грунтовых вод, строению и мощности почвенного профиля; почвенный покров участка должен быть однороден по агрохимическим и агрофизическим свойствам (Витковская, 2011):

2) Схема полевого эксперимента должна включать варианты в широком диапазоне доз мелиоранта. Минимальное число вариантов (доз) должно быть не менее шести, что позволит построить зависимости «доза – ответ» по любому тестируемому параметру. Прецизионные эксперименты проводят без повторностей,

3) Для оценки последствий мелиорантов, особенно известковых, продолжительность эксперимента должна составлять не менее трёх лет, что позволит построить зависимости «время – ответ», оценить изменение скоростей тестируемых процессов в зависимости от дозы и времени взаимодействия мелиоранта с почвой (Витковская и др., 2016).

4) При закладке и проведении крупномасштабных полевых опытов необходимо учитывать, что варьирование параметров плодородия опытного участка может оказаться существенным фактором, влияющим на неоднородность урожайности сельскохозяйственных культур в пределах

делянок. Критериями оценки неоднородности являются: среднее, минимальное и максимальное значения, стандартное отклонение и коэффициент вариации.

При закладке экспериментов особое внимание следует уделять качеству посевного материала, поскольку в полевых условиях его неоднородность оказывает существенное влияние на вариабельность урожайности (Витковская, 2009). При проведении микрополевых опытов определение полевой всхожести должно быть обязательным. Количество растений на делянке выравнивается.

Анализ экспериментальных данных позволяет установить:

1) Эффективность и продолжительность действия конкретной дозы мелиоранта: влияние возрастающих доз мелиоранта на контролируемый параметр (зависимость «доза – ответ»); влияние времени взаимодействия мелиоранта с почвой на контролируемый параметр (зависимость «время – ответ»); влияние конкретной дозы мелиоранта на скорости нарастания биомассы и содержание макро- и микроэлементов в растениях (зависимость «время – ответ»). Для оценки влияния возрастающих доз химического мелиорантов на свойства почвы (зависимость «доза – ответ») может быть применена линейная или экспоненциальная модели.

2) Влияние возрастающих доз мелиоранта на всхожесть и урожайность различных видов сельскохозяйственных культур.

Урожайность сельскохозяйственных культур – основной показатель эффективности химических мелиорантов в агроценозе. В зависимости от площади делянки опыта, может устанавливаться сплошным учетом или выборочным (метровками). При выборочном учете необходимо устанавливать количество растений на площади учета для нивелирования фактора неоднородности (Витковская, 2011). В ряде случаев учет урожайности может проводиться по биомассе определенного количества растений, отобранных с делянки (например, 100 растений). Для оценки влияния дозы мелиоранта на урожайность сельскохозяйственных культур хорошо подходит линейная модель. Степень влияния изучаемого фактора на урожайность оценивается по величине коэффициента корреляции (r) (Витковская, 2017).

3) Влияние возрастающих доз мелиоранта на элементный состав сельскохозяйственных культур.

Экспериментальные данные позволяют установить зависимость содержания макро- и микроэлементов в растениях от дозы мелиоранта (зависимость доза-ответ). Информативным показателем, характеризующим переход элементов из почвы в растения, является коэффициент накопления (КН), представляющий собой отношение концентрации элемента в растениях (C_p) к концентрации в почве ($C_{п}$): $КН = C_p / C_{п}$. Зависимость $КН = f(\text{Доза})$ может использоваться для характеристики влияния возрастающих доз мелиоранта на распределение химических элементов в системе почва-растение.

4) Влияние конкретной дозы химического мелиоранта на динамику нарастания биомассы и изменения элементного состава сельскохозяйственных культур.

Построение зависимости время–ответ позволяет на основании полученных параметров моделей (например, скорости нарастания биомассы) не только количественно и качественно оценить влияние изучаемых факторов на урожай и его качество, но и установить закономерности, общие для любого агрофитоценоза. Для построения зависимостей, характеризующих влияние мелиоранта на динамику нарастания биомассы и элементного состава опытной культуры, количество отборов растительных проб должно составлять не менее пяти (Витковская, 2015 (1)).

Для описания динамики процессов, протекающих в агроценозе, наиболее подходят три основные модели: линейная, экспоненциальная и сигмоидная (логистическая). Применение этих моделей позволяет вычислить такие параметры, как скорость, максимальная скорость, период $T_{1/2}$ (периоды полуудвоения массы, полураспада вещества и т. д.).

Для описания динамики накопления биомассы может быть применена логистическая (сигмоидная) модель:

$$M(t) = \frac{M_1 - M_2}{1 + e^{(t-t_0)/dt}} + M_2, \quad (1)$$

где M_1 – начальная биомасса, г, (равна нулю); M_2 – максимальная биомасса, г; t_0 – точка перегиба, в момент которой $M = 1/2 (M_1 + M_2)$; dt – крутизна кривой (угол наклона) – постоянная величина для данной кривой. Скорость прироста биомассы ($\text{г} \cdot \text{сут.}^{-1}$) достигает максимума в момент, когда $t = t_0$. Отношение $(M_2 - M_1) / 4dt$ характеризует скорость на момент времени t_0 (максимальную), см ($\text{г} \cdot \text{сут.}^{-1}$) (V_{\max}).

Данная модель хорошо аппроксимирует также рост растений в высоту и динамику содержания макро- и микроэлементов в растениях (Витковская и др., 2014; Витковская, 2015 (1)).

Содержание макроэлементов в растениях закономерно снижается в процессе вегетации (эффект биологического разбавления). Этот процесс может быть аппроксимирован сигмоидной функцией, зеркальной по отношению к уравнению, представленному выше (Витковская, 2015 (1)):

$$C(t) = \frac{C_1 - C_2}{1 + e^{(t-t_0)/dt}} + C_2, \quad (2)$$

где C_1 – содержание элемента, % на момент 1-го отбора; C_2 – минимальное содержание элемента, %; t_0 – точка перегиба, в момент которой $C = 1/2 (C_1 + C_2)$; dt – крутизна кривой (угол наклона) – постоянная величина для данной кривой (данных растений). Скорость уменьшения концентрации ($\% \cdot \text{сут.}^{-1}$) достигала максимума в момент $t = t_0$. Отношение $(C_2 - C_1) / 4dt$ характеризовало скорость на момент времени t_0 (максимальную), $\% \cdot \text{сут.}^{-1}$, (V_{\max}).

Для установления скорости нарастания биомассы ($\text{г} \cdot \text{сут.}^{-1}$) может быть применена также линейная модель:

$$M(t) = M_0 + bt, \quad (3)$$

где $M(t)$ – биомасса растений г, на момент времени t ; M_0 – начальная биомасса растений (равна 0); b – скорость нарастания биомассы, $\text{г} \cdot \text{сут.}^{-1}$.

В ряде случаев линейная модель (3) может быть применена для аппроксимации динамики содержания химических элементов в растениях:

Правомерность применения линейной модели для описания указанных выше процессов можно оценить по величине критического значения коэффициента корреляции (r) на конкретном уровне значимости.

Динамика выноса макро- и микроэлементов растениями с урожаем является интегральной характеристикой изменения элементного состава системы почва-растение в процессе функционирования агрофитоценоза (Витковская, 2015 (2)). Скорость нарастания биомассы превышает скорость накопления химических элементов растениями, однако, вследствие непрерывности этих процессов, вынос элементов увеличивается в течение вегетации. Этот процесс может быть аппроксимирован сигмоидной (логистической) функцией (1). Динамику выноса макроэлементов растениями можно аппроксимировать также линейной моделью (Витковская, 2015 (2)):

$$W(t) = W_0 + bt, \quad (4)$$

где $W(t)$ – вынос элемента растениями на момент времени t , г·30 шт.⁻¹; W_0 – вынос элемента растениями на момент 1-го отбора; b – скорость выноса элемента растениями, г·сут.⁻¹.

Исходя из изложенного, следует (Витковская, 2017), что качественно и количественно оценить эффективность различных доз химического мелиоранта и степень изменения сопряженных с ними агрохимических свойств почв, влияющих на продуктивность и элементный состав сельскохозяйственных культур, позволяют результаты исследований, полученные в многолетних экспериментах с широким диапазоном доз мелиоранта. Изучение закономерностей нарастания биомассы сельскохозяйственных культур и распределения макро- и микроэлементов в системе «почва – растение» в зависимости от дозы мелиоранта и времени взаимодействия его с почвой необходимо для возможности прогнозирования продуктивности и элементного состава растений, снижению риска ухудшения экологического состояния агроземов и сопредельных сред.

Список литературы

1. Витковская С. Е., Изосимова А. А., Шидловская Т. П. Вариабельность параметров урожая в полевом опыте / Сборник научных трудов «Гумус и почвообразование». СПб. – Пушкин: СПбГАУ, 2009. С. 135–139.
2. Витковская С. Е. Методы оценки неоднородности почвенного покрова при планировании и проведении полевых опытов. СПб.: АФИ, 2011. 52 с.
3. Витковская С. Е., Яковлев О. Н., Оглуздин А. С., Дубовицкая В. И. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на поведение тяжелых металлов в системе «почва – растение» // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 3. С. 31–34.
4. Витковская С. Е. Закономерности формирования биомассы и элементного состава растений ячменя в полевом опыте // Агрохимия. 2015. № 1. С. 63–72(1).
5. Витковская С. Е. Закономерности динамики выноса питательных веществ растениями ячменя в полевом опыте // Агрохимия. 2015. №5. С. 38–45(2).
6. Витковская С.Е., Яковлев О.Н., Шаврина К.Ф. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2016. № 7. С. 3–11.
7. Витковская С.Е. Методы оценки эффективности и экологической безопасности химических мелиорантов. СПб.: АФИ. 2017. 76 с.

СТРУКТУРА МИКРОБНОГО ЦЕНОЗА ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ПАШНИ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

В. М. Гармашов, Н. А. Нужная, И. М. Корнилов, Л. В. Гармашова
*Научно-исследовательский институт сельского хозяйства
Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева,
E-mail: niish1c@mail.ru*

Аннотация. Результаты исследований свидетельствуют, что почвы, используемые в сельскохозяйственном производстве, имеют биологическую активность на 43,8-27,1% выше, чем почва залежи. При этом структура микробного ценоза изменяется незначительно. Снижение интенсивности механического воздействия на почву снижает и уровень микробиологической активности почвы. При нулевой обработке уровень микробиологической активности по общей численности микроорганизмов на 12% ниже, чем по вспашке и на 27% выше, чем на залежи. В агрогенных почвах и, особенно при вспашке, отмечается рост численности аммонифицирующих бактерий. По нулевой обработке численность аммонифицирующих микроорганизмов снижается на 22% и составляет 7,7 млн КОЕ в 1 г почвы. Минимальная численность отмечается в почве естественной экосистемы и составляет 5,9 млн КОЕ в 1 г почвы, что на 40,4% ниже, чем в почве пашни.

В агрогенной почве возрастает и количество минерализаторов гумуса, на 17% при нулевой обработке почвы и на 21% при вспашке на глубину 20-22 см по сравнению с залежью.

Для стабилизации и положительного баланса процессов синтеза и минерализации гумусовых веществ, в зависимости от интенсивности использования почв и антропогенной нагрузки в почвы, используемые в сельскохозяйственном производстве, необходимо дополнительное внесение органического вещества.

STRUCTURE OF MICROBIAL COENOSIS OF CHERNOZEM SOILS OF ARABLE LAND AND NATURAL ECOSYSTEMS

V. M. Garmashov, N. A. Nuzhnaya, I. M. Kornilov, L. V. Garmashova
*Research Institute of agriculture Scientific research institute of agriculture
Central Chernozem zone named after V.V. Dokuchaev
E-mail: niish1c@mail.ru*

Annotation. Research results show that the soils used in agricultural production have a biological activity 43.8-27.1% higher than the soil of the Deposit. At the same time, the structure of microbial coenosis changes slightly. Reducing the intensity of mechanical impact on the soil also reduces the level of microbiological activity of the soil. With zero processing, the level of microbiological activity for the total number of microorganisms is 12% lower than for plowing and 27% higher than for deposits. In agrogenic soils and, especially when plowing, there is an increase in the number of ammonifying bacteria. After zero treatment, the number of ammonifying microorganisms decreases by 22% and amounts to 7.7 million CFU per 1 g of soil. The minimum number is observed in the soil of the natural ecosystem and is 5.9 million CFU per 1 g of soil, which is 40.4% lower than in the soil of arable land.

In agrogenic soil, the number of humus mineralizers also increases, by 17% at zero tillage and by 21% when plowing to a depth of 20–22 cm compared to the Deposit.

For stabilization and positive balance of the processes of synthesis and mineralization of humus substances, depending on the intensity of soil use and anthropogenic load in the soil used in agricultural production, additional organic matter must be added.

Введение. В последние годы происходит непрерывное наращивание антропогенной нагрузки на почву, возрастают объемы применения средств интенсификации в земледелии и значительно увеличивается техногенное воздействие на почву. Во многих современных исследованиях отмечается рост деградации почв (Сычев, Ефремов, Лунев, 2013; Агафонов, Турчин, Громаков и др. 2015; Шмырева, Завалин, Соколов, 2018).

Биологическая активность почвы является одним из самых чувствительных индикаторов, отражающих уровень и характер изменения плодородия почв и их экологического состояния (Звягинцев, 1987; Бабьева, Зенова, 1989; Турусов, Гармашов, Гармашова, 2011).

Анализ литературы свидетельствует о чрезвычайно важном значении микроорганизмов в почвообразовании и поддержании плодородия почв (Бабьева, Зенова, 1989; Гельцер, 1990; Зенова, Широких, Звягинцева, 1993; Паринкина, Ключева, 1995). Они трансформируют растительные остатки, участвуют в формировании структуры почвы, образовании гумуса и его минерализации. Глобальной является роль микроорганизмов в пополнении биосферы, в том числе почв, азотом, мобилизации фосфора из органических и труднорастворимых неорганических соединений. Микроорганизмы не только активно участвуют в формировании плодородия, но и исключительно чутко реагируют на изменения, происходящие в почвенной среде. Активно функционирующий микробный ценоз является главным показателем плодородия почвы.

Цель работы – установить динамику изменения микроорганизмов в черноземе обыкновенном, используемом в сельскохозяйственном производстве и естественной экосистеме (залежи косимой).

Условия, материалы и методы. Исследования проводились в НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева в 2016–2019 гг. Объектом исследований был чернозем обыкновенный среднегумусный, среднемощный, тяжелосуглинистый, с благоприятными физико-химическими и агрохимическими характеристиками слоя почвы 0-30 см: содержание гумуса (по Тюрину в модификации

В. Н. Симакова, ГОСТ 2613-91) – 6,48%, общего азота (по Гинзбургу) – 0,36%, общего фосфора (по Гинзбургу и Щегловой) – 0,35%, общего калия (по Ожигову) – 1,85%, азота гидролизуемого (по Тюрину и Кононовой) – 61,2 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27821-88) – 66,4 мг-экв/100 г почвы, рН солевой вытяжки – 6,99%, гидролитическая кислотность – 0,57 мг-экв/100 г почвы. Обработку экспериментальных данных осуществляли дисперсионным методом математического анализа (Доспехов, 1985) с использованием программного обеспечения ПК.

Изучение динамики изменения микроорганизмов проводили в черноземе обыкновенном, используемом в сельскохозяйственном производстве с различной интенсивностью, и в естественной экосистеме (залежи косимой).

Наблюдения, анализы и учет проводили согласно действующим методикам, принятым в полевых и лабораторных исследованиях по земледелию и микробиологии (Теппер, 1979; Доспехов, 1985; Доспехов, Васильев, Туликов, 1987).

Комплексное исследование микробоценоза включало определение количества микроорганизмов различных эколого-трофических групп методом посева соответствующих разведений на селективные питательные среды (Теппер, 1979). Численность микроорганизмов, развивающихся за счет органических форм азота, определяли на мясо-пептонном агаре (МПА). На крахмало-аммиачном агаре (КАА) выделяли гетеротрофов, развивающихся за счет минеральных форм азота. На этой же среде учитывали и актиномицеты. Для выделения минерализаторов гумуса использовали нитратный агар.

Определение микробиологической активности почвы проводили в свежих почвенных образцах, отбираемых по слоям 0–10 и 10–20 см. Также определяли численность перечисленных групп микроорганизмов на ежегодно выкашиваемой залежи, которая не распахивалась более 120 лет.

Агрометеорологические условия в годы исследований были контрастными в течение вегетации, а в среднем близкими к типичным для юго-востока ЦЧЗ.

Результаты и их обсуждение. Значительным фактором антропогенного воздействия на почву является механическая обработка. Воздействие обработки почвы на ее свойства происходит как через изменение физических параметров, так и через почвенную биоту, так как почвенные микроорганизмы – это обязательный активный компонент почвы и между ними существуют тесные разнообразные связи.

Как показали результаты исследований, в почве, используемой в сельскохозяйственном производстве микробиологическая активность находится на более высоком уровне. Общая численность микроорганизмов в 1 г абс. сухой почвы в слое 0–20 см при классической обработке почвы вспашке на глубину 20–22 см была максимальной и составляла 44,0 млн КОЕ. Уменьшение механического воздействия на почву приводит к снижению биологической активности. При нулевой обработке почвы отмечается некоторое снижение общей численности микроорганизмов до 38,9 млн КОЕ в 1 г абс. сухой почвы. В почве залежи общая численность микроорганизмов была минимальной и составляла 30,6 млн КОЕ в 1 г абс. сух. почвы. Почвы, используемые в сельскохозяйственном производстве, имеют биологическую активность на 43,8–27,1% выше, чем почва залежи. При этом структура микробного ценоза изменяется незначительно (рис.).

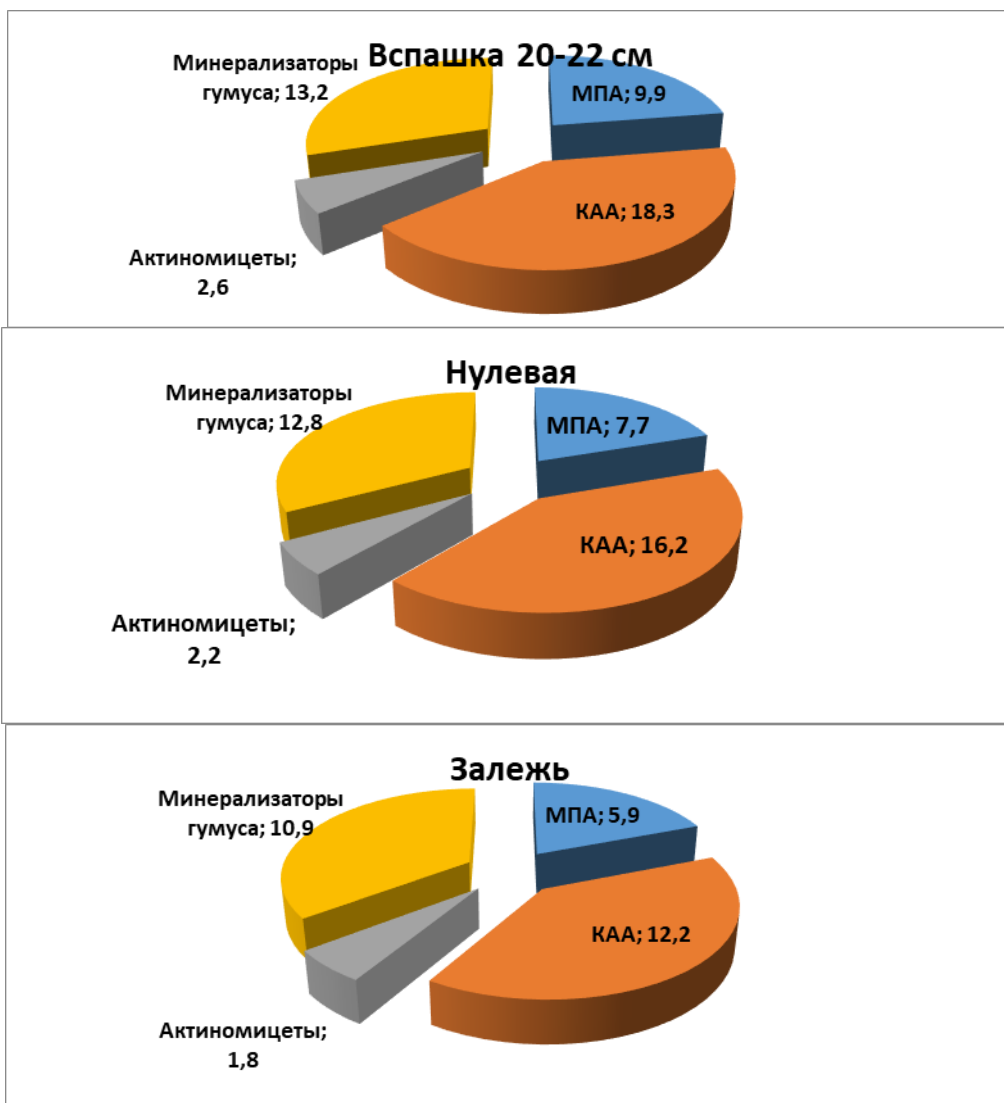


Рисунок – Структура доминирующих групп микроорганизмов в агрогенной почве и в естественной экосистеме (залежи), 2016-2019 гг.

Однако, в агрогенных почвах, особенно при вспашке, отмечается рост численности аммонифицирующих бактерий, развивающихся на МПА и в своей жизнедеятельности специализирующихся на разложении свежего органического вещества, поступающего в почву при обработке в виде растительных остатков и отмерших корней растений. По нулевой обработке численность аммонифицирующих микроорганизмов снижается на 22% и составляет 7,7 млн КОЕ в 1 г почвы, а минимальная численность отмечается в почве естественной экосистемы и составляет 5,9 млн КОЕ в 1 г почвы, что на 40,4% ниже, чем в почве пашни.

В почве, используемой в сельскохозяйственном производстве, также отмечается и рост численности актиномицетов и микроорганизмов, развивающихся на КАА – в своей жизнедеятельности, использующих минеральные формы азота. Количество актиномицетов превышает их численность в почве залежи при нулевой обработке почвы на 22%, в почве пашни – на 44%, микроорганизмов, развивающихся на КАА – на 33 и 50% соответственно.

Также в почвах, используемых в сельскохозяйственном производстве, по сравнению с залежью отмечается рост численности специфической группы микроорганизмов, так называемых минерализаторов гумуса. В почве, используемой в сельскохозяйственном производстве, их количество увеличивается на 17% при нулевой обработке почвы и на 21% при вспашке на глубину 20–22 см по сравнению с залежью. Незначительное увеличение численности минерализаторов гумуса при более интенсивном воздействии на почву при вспашке связано с дополнительным поступлением в обрабатываемый слой почвы свежего органического вещества, растительных остатков, являющихся более доступной пищей для других групп микроорганизмов.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что в почвах, используемых в сельскохозяйственном производстве, по сравнению с почвой естественной экосистемы – залежи отмечается более высокий уровень микробиологических процессов, происходит увеличение как общей численности микроорганизмов, так и некоторое изменение структуры микробного ценоза. Снижение интенсивности механического воздействия на почву снижает и уровень микробиологической активности почвы. При нулевой обработке уровень микробиологической активности по общей численности микроорганизмов на 12% ниже, чем по вспашке и на 27% выше, чем на залежи. Поэтому для стабилизации и положительного баланса процессов синтеза и минерализации гумусовых веществ, в зависимости от интенсивности использования почв и антропогенной нагрузки, в почвы, используемые в сельскохозяйственном производстве, необходимо дополнительное внесение органического вещества.

Список литературы

1. Агафонов, Е.В. Особенности систем земледелия и баланс NPK в Ростовской области / Е. В. Агафонов, В. В. Турчин, А. А. Громаков, Р. А. Каменев // Плодородие. 2015. № 5. С. 35–36.
2. Агрехимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации (по состоянию на 1 января 2010 года). Реестр плодородия почв / В.Г. Сычев, Е.Н. Ефремов, И.И. Лунев, А.А. Кузнецов, А.В. Павлихина, П.А. Чекмарев, Н.М. Васильева. М.: ВНИИА, 2013. 208 с.
3. Бабьева, И.П. Биология почв / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. М.: Изд-во МГУ, 1989. 336 с.
4. Гельцер, Ю.Г. Показатели биологической активности в почвенных исследованиях / Ю.Г. Гельцер // Почвоведение. 1990. № 9. С. 47–60.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Изд. 5-е доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
6. Доспехов Б.А., Васильев И.П., Туликов А.М. Практикум по земледелию / Изд. 2-е доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.
7. Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. М.: МГУ, 1987. – 256 с.
8. Зенова, Г.М. Изменение комплекса почвенных актиномицетов при длительном применении удобрений в выработанном торфянике / Г.М. Зенова, Я.Г. Широких, Д.Г. Звягинцева // Вести Московского Университета. Сер. 17. Почвоведение. 1993. № 2. С. 43–47.
9. Паринкина, О.М. Микробиологические аспекты уменьшения естественного плодородия почв при их сельскохозяйственном использовании / О.М. Паринкина, Н.В. Клюева // Почвоведение. 1995. № 5. С. 573–581.
10. Теппер, Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.Н. Переверзев. М.: Колос, 1979. 215 с.
11. Турусов, В.И. Структура микробного ценоза агрогенных почв и естественных экосистем / В.И. Турусов, В.М. Гармашов, Л.В. Гармашова // Плодородие. 2011. № 1. С. 34–35.
12. Шмырева, Н.Я. Потоки и баланс азота удобрения и азота почвы в условиях севооборота на эродированной дерново-подзолистой почве (исследования $C^{15}N$) / Н.Я. Шмырева, А.А. Завалин, О.А. Соколов // Плодородие. 2018. № 4. С. 2–5.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ СУБСТРАТАМИ ДЫХАТЕЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА И ГОРМОНАМИ РОСТА РАСТЕНИЙ

И. В. Горепекин, Г. Н. Федотов

МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения

Изучено влияние предпосевной обработки семян яровой пшеницы гормонами роста растений и субстратами дыхательного метаболизма совместно с сорбционными препаратами на основе бентонито-гуматовых смесей на их прорастание в почвах. Установлено, что применение индивидуальных веществ-стимуляторов совместно с сорбционным препаратом и АПД в ряде случаев позволило заметно повысить эффективность их использования.

INCREASING THE EFFICIENCY OF SPRING WHEAT SEEDS PRE-SOWING TREATMENT WITH RESPIRATORY METABOLISM SUBSTRATES AND PLANT GROWTH HORMONES

I. V. Gorepekin, G. N. Fedotov

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science

Pre-sowing seed treatment with stimulating preparations is a well-known technique to increase crop yield. However, positive effects observed during their application in laboratory conditions, as a rule, decrease significantly when switching to field tests.

A suggestion was made that the small magnitude of the effects and their non-reproducibility when applying stimulating seed treatment with biologically active substances (BAS) is related to the fact that their influence manifests against the background of inhibitory action on seeds of soil allelotoxins.

When verifying this suggestion, the preparation on the base of calcium bentonite (CB), humate (H), and brewer's yeast autolysate (BYA) was created. It prevented the intake of soil allelotoxins by seeds on the one hand and on the other hand absorbed minimally biologically active substances essential for seeds development. Besides conducted experiments show that combined use of bentonite-humate mixture, BYA, and Buton preparation containing sodium salts of gibberellic acids result in an application efficiency increase of the last one from 5–7% to 25–34%.

In this regard, it was of interest the possibility to increase the efficiency of previously developed stimulants of seed germination (substrates of respiratory metabolism, plant growth hormones) in their combined application with bentonite-humate mixture and BYA.

Seeds of 6 spring wheat cultivars, yield 2018, and samples of 5 sod-podzolic soils were used in the research.

The effect of seeds treatment with preparations on the change in the total length of seedlings 7.5 g of seeds (~200 units) during their germination in soil and sand was studied. The effect of preparations was determined in comparison with untreated seeds. The length of seedlings was measured using the express method based on the existence of a linear relationship between the bulk volume of germinated seeds in water and the length of their seedlings.

Experiments showed that the use of respiratory metabolism substrates in conjunction with the bentonite-humate mixture and BYA sharply increases the efficiency of their application for all studied substances.

The application efficiency of plant growth hormones increased significantly in many cases when introducing them to the sorption preparation (CB-H-BYA). So, stimulation with 6-benzylaminopurine increases from 8% to 47%, gibberellin from 5% to 23%, para-aminobenzoic acid from 5% to 32%, brassinolide from 0% to 20%.

Thus, the use of respiratory metabolism substrates and plant growth hormones in conjunction with the sorption preparation (CB-H-BYA), the action of which is based on reducing the intake of soil allelotoxins by seeds, allows to increase markedly the application efficiency of individual substances-stimulants for pre-sowing seed treatment.

Стимулирующая предпосевная обработка семян известна достаточно давно. Для ее проведения используют стимулирующие воздействия или препараты. При этом более перспективным представляется использование препаратов, так как возможность их внедрения в производство может осуществляться при помощи стандартного оборудования, применяемого для протравливания семян. Однако необходимо отметить, что положительные результаты, наблюдаемые при обработке семян препаратами, часто не воспроизводятся, что объясняли влиянием погодных условий, качества семян или другими причинами, но, в целом, природа невоспроизводимости не была понятна.

Было выдвинуто предположение (Федотов и др., 2019), что небольшая величина эффектов и их невоспроизводимость при стимулирующей обработке семян биологически активными веществами (БАВ) связаны с тем, что их влияние проявляется на фоне угнетающего воздействия на семена почвенных аллелотоксинов (Гродзинский и др., 1979; Reigosa et al. 2006). Как следствие, в зависимости от величины ингибирующего действия аллелотоксинов конкретных почв стимулирующее влияние проявляется в различной степени.

Проведенные эксперименты показали, что создание сорбционного слоя на поверхности семян при их обработке сорбционным препаратом (СП) на основе бентонито-гуматовой смеси позволяет минимизировать поступление аллелотоксинов в семена и тем самым ускорить их прорастание.

Однако наблюдаемые эффекты воспроизводились не на всех изученных сортах яровой пшеницы. В ряде случаев наблюдали замедление прорастания семян при применении СП. В результате, использование бентонито-гуматовой смеси поделило семена яровой пшеницы на две группы: для первой группы (сорта «Лиза» и «Злата») обработка семян СП приводила к ускорению их

прорастания, а для другой либо не оказывала значимого влияния (сорт «Агата»), либо проводила к замедлению («Любава», «РИМА», «Эстер»). В связи с этим возникла необходимость поиска объяснений данного явления.

Известно, что почвы являются источником большого количества БАВ (Гродзинский и др., 1979; Reigosa et al., 2006), и наряду с аллелотоксинами в семена могли поступать необходимые для их развития вещества, сорбция которых бентонито-гуматовой смесью могла оказывать негативное влияние на их прорастание.

С целью проверки этой гипотезы было необходимо заполнить те активные центры сорбента, на которых могли закрепляться БАВ из почв. Введение в СРП автолизата пивных дрожжей (АПД), содержащего широкий набор БАВ (витамины, пептиды, аминокислоты, липиды и т.д.), позволило заметно повысить эффективность применения разработанного состава и снять наблюдавшиеся ранее негативные эффекты. Таким образом, найденный препарат (бентонит, гумат, АПД), с одной стороны, предотвращал поглощение почвенных аллелотоксинов семенами, а с другой – в минимальной степени сорбировал необходимые для развития семян БАВ. Более того, использование препарата «Бутон», содержащего натриевые соли гиббереллиновых кислот, совместно с СРП и АПД привело к резкому повышению эффективности его использования с 5–7 до 25–34 %.

В связи с этим представляла интерес возможность повышения эффективности ранее разработанных стимуляторов прорастания семян (субстратов дыхательного метаболизма, гормонов роста растений) при их совместном применении с СРП и АПД.

В экспериментах использовали семена яровой пшеницы (*Triticum*) урожая 2018 г сортов «Лиза», «Злата», «Любава», «Эстер», «Агата» и «РИМА», а также образцы дерново-подзолистых почв: окультуренная дерново-подзолистая глубоко-подзолистая глубокопахотная легкосуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых флювиогляциалом после вико-овсяной смеси влажностью 25,6% (1), после горчицы влажностью 25,9% (2), после картофеля влажностью 24,1% (3) Московская область, Чашниково; дерново-неглубокоподзолистая освоенная глубокопахотная легкосуглинистая почва на

покровных суглинках, подстилаемых мореной, залежь с 2015 г. влажностью 19,9% (5) Московская область, Чашниково; агродерново-глубокоподзолистая супесчаная на водно-ледниковых (древнеозерных) отложениях, подстилаемая с глубины 92 см бескарбонатными лессовидными (покровными) суглинками после пшеницы влажностью 18,1% (9) из окрестностей поймы р. Яхрома (Московская область, Дмитровский район). Свойства почв, включая их аллелотоксичность, были определены ранее (Федотов и др., 2020).

Было изучено влияние обработки семян препаратами на изменение длины проростков 7,5 г семян (~200 шт.) при их прорастании в различных почвах и песке. Влияние препаратов изучали по сравнению с необработанными семенами. Длину проростков определяли, используя экспресс-метод, основанный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом проросших семян в воде и длиной их проростков (Федотов и др., 2019). Использовали шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. В связи с использованием в одном опыте 1000-1200 семян удавалось минимизировать ошибку, связанную с разнокачественностью семян. В результате ошибка опыта не превышала 7% при 95% уровне значимости.

В качестве стимуляторов использовали: бентонит кальция (БК) по ОСТ 18-49-71 (Россия); гумат калия (натрия) (Г), произведенный ООО НВЦ «Агротехнологии» (Россия) из бурого угля; автолизат пивных дрожжей (АПД), произведенный ООО «Биотех плюс» (Россия); препарат «Янтарин», содержащий янтарную кислоту в концентрации 5 г/л, произведенный ЗАО фирма «Август» (Россия); щавелевую кислоту АО «Мосреактив» (Россия); фумаровую кислоту (Китай). В качестве биологически активных веществ к сорбционным препаратам добавляли: гиббереллин (90%-ный) в концентрации 40–140 мг/л, 3-индолилуксусную кислоту в концентрации 50-240 мг/л, 6-бензиламинопуридин в концентрации 25-100 мг/л, брассинолид, содержащий 0,1% брассиностероидов, диэтиламиноэтилгексаноат в концентрации 40-320 мг/л и парааминобензойную кислоту (ПАБК) фирма «Sigma» (США) в концентрации 400–1500 мг/л.

На первом этапе было изучено влияние совместного применения СРП, АПД и субстратов дыхательного метаболизма (табл. 1). Из представленных данных видно, что для них всех эффективность использования индивидуальных

веществ-стимуляторов резко возрастает. При этом использование комплексных препаратов без АПД приводило к сильному снижению эффективности их действия для семян, как первой, так и второй группы, а в некоторых случаях стимуляция сменялась ингибированием (табл. 1).

При введении гормонов роста растений в раствор сорбционного препарата (БК-Г-АПД) эффективность применения многих из них резко возросла (рис. 1–4). Хорошо видно, что стимуляция 6-бензиламинопурина увеличивается с 8% до 47% (рис. 1), гиббереллина – с 5% до 23% (рис. 2), парааминобензойной кислоты – с 5% до 32% (рис. 3), брассинолида – с 0% до 20% (рис. 4). Следует отметить, что интервал концентраций высокой эффективности применения этих гормонов был достаточно узок.

В тоже время не было отмечено стимуляции при использовании диэтиламиноэтилгексаноата (рис. 4). При использовании гормона ауксиновой природы (3-индолилуксусной кислоты) отсутствие стимуляции при малых концентрациях сменялось заметным ингибированием (рис. 4).

Таблица 1. Влияние предпосевной обработки семян яровых пшениц суспензиями препаратов на основе СРП на начальную стадию развития растений из семян на дерново-подзолистых почвах

Сорт пшеницы	Номер почвы	Состав препарата, г/л	Эффект, %
«Лиза» (1 группа)	2	БК-Г-ФК (40-10-1)	+12±3
		БК-Г-АПД-ФК (40-10-12-1)	+24±4
	2	БК-Г-ЯК (40-10-0,06)	+8±3
		БК-Г-АПД-ЯК (40-10-12-0,06)	+23±4
	2	БК-Г-ЩК (40-10-2)	+7±3
		БК-Г-АПД-ЩК (40-10-12-2)	+21±4
«Любава» (2 группа)	1	БК-Г-ФК (40-10-1)	0±3
		БК-Г-АПД-ФК (40-10-12-1)	+25±5
	1	БК-Г-ЯК (40-10-0,06)	-9±3
		БК-Г-АПД-ЯК (40-10-12-0,06)	+20±4
	1	БК-Г-ЩК (40-10-2)	-16±4
		БК-Г-АПД-ЩК (40-10-12-2)	+19±4

БК – бентонит кальциевый; Г – гумат; АПД – автолизат пивных дрожжей; ФК – фумаровая кислота; ЯК – янтарная кислота; ЩК – щавелевая кислота.

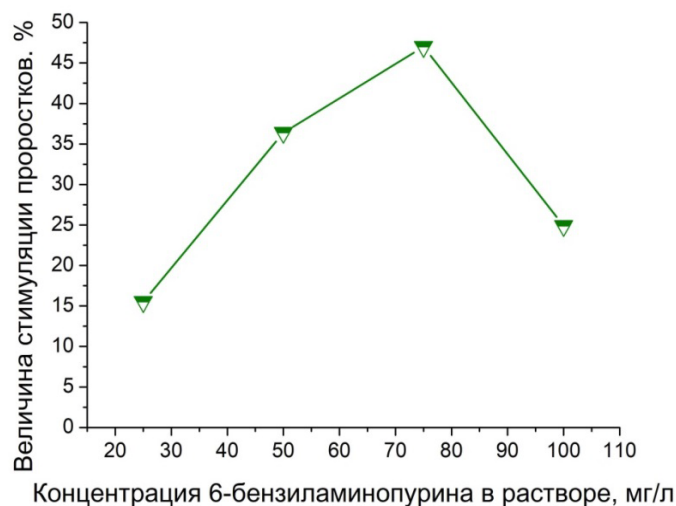


Рис. 1. Влияние содержания 6-бензиламинопурина в суспензии бентонита (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) и АПД (12 г/л) на прорастание семян яровой пшеницы сорт «Лиза» и на развитие их проростков в дерново-подзолистой почве (3)

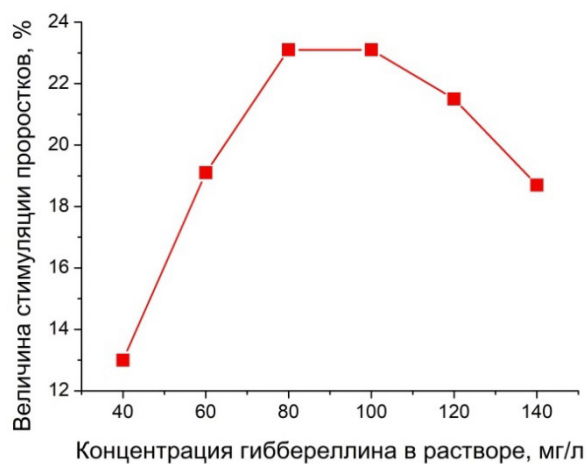


Рис. 2. Влияние содержания гиббереллина в суспензии бентонита (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) и АПД (12 г/л) на прорастание семян яровой пшеницы сорт «Лиза» и развитие их проростков в дерново-подзолистой почве (5)

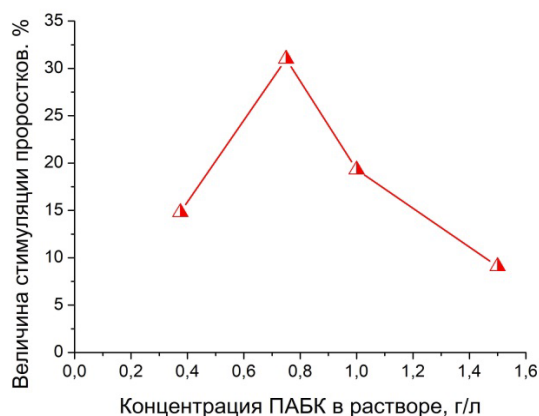


Рис. 3. Влияние содержания парааминобензойной кислоты (ПАБК) в суспензии бентонита (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) и АПД (12 г/л) на прорастание семян яровой пшеницы сорт «Лиза» и развитие их проростков в дерново-подзолистой почве (3)

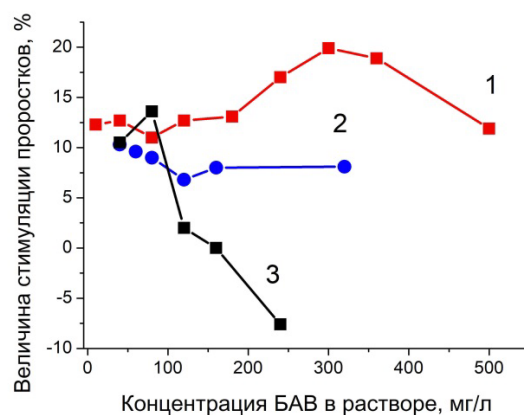


Рис. 4. Влияние содержания биологически активных веществ (1 – брассинолида; 2 – диэтиламиноэтилгексаноата; 3 – 3-индолилуксусной кислоты) в суспензии бентонита (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) и АПД (12 г/л) на прорастание семян яровой пшеницы сорт «Лиза» и развитие их проростков в дерново-подзолистой почве (9)

Таким образом, применение субстратов дыхательного метаболизма и гормонов роста растений совместно с сорбционным препаратом (БК-Г-АПД), действие которого основано на снижении поступления из почв в семена аллелотоксинов, в ряде случаев позволило заметно повысить эффективность использования индивидуальных веществ-стимуляторов для предпосевной обработки семян.

Список литературы

1. Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление: Избр. тр. Киев: Наук. думка, 1991. 432 с.
2. Федотов Г.Н., Горепекин И.В., Позднякова А.Д., Завгородняя Ю.А., Исакова С.А. Взаимосвязь предыстории и химических свойств почв с их аллелотоксичностью // Почвоведение. 2020. № 3. С. 379–386.
3. Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Аллелотоксичность почв и повышение эффективности использования гиббереллинов для предпосевной обработки семян // Лесной вестник. 2019. Т. 23. № 6. С. 45–50.
4. Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Edited by M. J. Reigosa, N. Pedrol and L. Gonzalez. Published by Springer. Printed in the Netherlands. 2006. 637 p.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АГРОЛАНДШАФТАХ

Д. А. Иванов, О. В. Карасева, М. В. Рублюк, О. Н. Анциферова
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,

Пыжевский пер., д.7, стр. 2, Москва, 119017, Российская Федерация
Приведены результаты мониторинга (2003–2013 гг.) урожайности пятикомпонентного травостоя на выводном поле, пересекающем основные местоположения моренного холма. Установлено, что данные по урожайности, представленные в различной форме, по-разному коррелируют с показателями агроклимата. Это позволит адаптировать к условиям хозяйств размещение травостоев и мероприятий по регулированию водного и теплового режима почв.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE STUDY OF DYNAMIC PROCESSES IN AGROLANDSCAPES.

D. A. Ivanov, O. V. Karaseva, M. V. Rublyuk, O. N. Antsiferova.
FIC «Soil Institute named. V.V. Dokuchaev»

Pyzhevsky per., 7, bld. 2, Moscow, 119017, Russian Federation

The paper presents the results of long-term (2003–2013) monitoring of the productivity of a five-component leguminous grass stand on the hatchery field, intersecting, in the form of a geographical profile, the main landscape microposition of a moraine hill. The aim of the research was to find patterns of spatial and temporal dynamics of grass yields within a finite moraine hill to gain new knowledge about the processes of functioning of the agrolandscape. The grass stand was operated in uniaxial mode without fertilizing. The field was divided into 30 identical plots, with a recorded area of 23.3 m², 4-fold repetition. The yield of herbs was determined by the continuous method. To find the most informative way of studying dynamic processes, the data on the productivity of the grass stand for each year are presented in two forms: 1. Absolute yield (specific yield of hay), t / ha; 2. Relative yield (percent of yield for each year). Based on the correlation analysis, the influence of the parameters of agroclimatic conditions over the growing periods of the research years on the productivity of the grass stand was calculated. It was found that the maximum coincidence of the temporal dynamics of different productivity indicators was noted on the top of the hill and the upper parts of its slopes - here the variability of climatic conditions does not have such a significant effect on the crop as on the slopes, where the correlation coefficients are minimal. Studies have shown that changes in temperature have the most significant effect on productivity, and switching to relative units of measure of productivity allows us to reduce the influence of climate on the variability of the data array by an order of magnitude and reveal other aspects of its structure. The averaged indicators of the correlation coefficients of productivity and effective temperatures are negative in places of distribution of powerful and medium-power binomials and are positive on heavier soils. An increase in temperature sums in pre-mowing periods and in September almost everywhere leads to a decrease in the absolute yield of grasses, and the positive influence of high temperatures in the middle and end of summer is explained by the rapid restoration of grass stand after mowing. An increase in temperature during almost all periods of the growing season leads to a decrease in the relative indicators of grass yields in places dominated by light soils and optimize the production process on sandy loam and light loam. The knowledge gained will allow adapting measures for the placement of grass stands and on regulating the water and thermal conditions of soils to farm conditions.

Развитие методологии адаптивно-ландшафтного земледелия, частью которого является земледелие прецизионное (Шпаар и др., 2009), требует углубленного изучения динамических процессов в агроландшафте, являющихся основой его метаболизма и определяющих особенности его современных и будущих состояний. Пространственно-временная динамика состояний присуща всем компонентам АГС (Иванов, 2018), однако наиболее сильно она проявляется в ее растительном ярусе, особенно представленном многолетними многокомпонентными травостоями (Иванова, 2019). Знание характеристик пространственно-временной изменчивости урожайности культур позволяет прогнозировать не только продуктивность агроландшафтов, но и корректно планировать сроки и особенности проведения агротехнологических мероприятий в их различных частях, что является основным атрибутом адаптивно-ландшафтного земледелия (Кирюшин, 2005; Иванов, 2017).

Целью данной работы является нахождение закономерностей пространственной и временной динамики урожайности многолетних трав в пределах конечно-моренного холма для получения новых знаний о процессах функционирования агроландшафта.

Методика. Для достижения поставленной цели осуществляли мониторинг урожайности сена пятикомпонентного (люцерна синегибридная, райграс пастбищный, клевер красный, тимофеевка луговая и овсяница луговая) злакобобового травостоя в 2003–2013 гг., в условиях конечно-моренной гряды на агроэкологическом стационаре ВНИИМЗ. Стационар расположен в 4-х км к востоку от г. Тверь, на моренном холме с относительной высотой 15 м, состоящим из плоской вершины, северного пологого склона, крутизной 2–3°, южных склонов (3–5°) и межхолмных депрессий (северной и южной). Различия в экспозиции склонов определяет не только разницу в прогреве территории, но и неоднородность гранулометрического состава почв, что во многом определяется генезисом конечно-моренных образований (Борзов, 1938). Почвообразующие породы на территории стационара – двучленные отложения. В его южной части мощность кроющего песчано-супесчаного наноса местами превышает 1,5 м. На

вершине и северном склоне холма пахотные горизонты сложены супесью и легким суглинком, мощность кроющего наноса здесь колеблется около 1 м, а местами в межхолмной депрессии морена выходит на поверхность. Почвенный покров стационара состоит из чередования пятен дерново-подзолистых почв разной степени гидроморфизма (профильно-глееватых и профильно-глеевых) (Иванов, 1999).

Исследования проводились на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – узком поле, пересекающем все микроландшафтные позиции конечно-моренной гряды. Выводное поле, на котором проводились наблюдения, располагалось вдоль трансекты на полосе, шириной 7,2 м., а длиной – 1300 м. Травостой эксплуатировался в одноукосном режиме без внесения удобрений. Поле разбито на 30 одинаковых делянок, с учетной площадью 23,3 м², повторность 4-х кратная. Урожайность трав определялась сплошным методом. Для нахождения наиболее информативного способа изучения динамических процессов в агроландшафтах данные по продуктивности травостоя за каждый год представлены в двух видах: 1. Абсолютная урожайность (конкретная урожайность сена), ц/га; 2. Относительная урожайность (проценты урожайности по каждому году).

В ходе исследований, на основе корреляционного анализа, выполненного в среде EXCEL, рассчитывалось влияние параметров агроклиматических обстановок за вегетационные периоды годов исследований (мая и июня года укоса, а также июля – сентября предыдущего года) на урожайность травостоя, которое во многом определяет характер динамических процессов в геокомплексе (Bulgakov, 2018). Агроклиматические показатели: 1. $\sum_{t>10^{\circ}}$; 3. Сумма осадков, мм; 4. ГТК по Селянинову заимствованы из базы данных Тверской метеостанции.

Результаты и обсуждение. Пространственно-временная динамика урожайности травостоев зависит от множества причин – пестроты природных свойств геокомплекса, флуктуации агроклиматической обстановки, трансформации, со временем, видового состава травостоя и агрохимических свойств почв, предыдущего состояния растительного сообщества и т. д. На

вариабельности показателей абсолютной урожайности отражается воздействия всего этого комплекса факторов, тогда как ее процентные показатели меньше зависят от флуктуации агроклиматических условий, так как рассчитаны отдельно для каждого года. Сравнение этих двух видов данных урожайности позволяет выявить места в агроландшафте, в которых травостой по-разному реагирует на изменчивость агроклимата. При сравнении относительных (выраженных в процентах) единиц урожайности разных лет можно определять места на трансекте, стабильно оптимальные для произрастания культуры.

Максимальные совпадения временных динамик разных показателей урожайности отмечено на вершине холма и верхних частях его склонов ($r \approx 0,7$). Это говорит о том, что здесь вариабельность климатических условий не оказывает столь значительного влияния на урожай, как на склонах, где коэффициенты корреляции минимальны ($r \approx 0,3$).

Корреляционный анализ одиннадцатилетних данных показал, что воздействие различных параметров агроклимата на абсолютные показатели урожая в разные месяцы не одинаково – меняется не только значения коэффициентов, но и их знак. Поэтому значения коэффициентов корреляции, усредненные в пространстве и во времени не велики – между урожайностью и суммой эффективных температур = $-0,20$, урожайностью и ГТК = $-0,02$, урожайностью и осадками = $0,03$. Подобные процедуры, совершенные с относительными показателями урожайности трав, позволили получить соответственно такие результаты: $-0,012$, $0,007$ и $-0,0008$. На основе результатов этих расчетов можно сказать, что, во-первых, наиболее существенное воздействие на урожайность оказывают изменения температуры, а, во-вторых, переход на относительные единицы измерения урожайности позволяет на порядок уменьшить влияние климата на вариабельность массива данных и проявить другие аспекты его структуры.

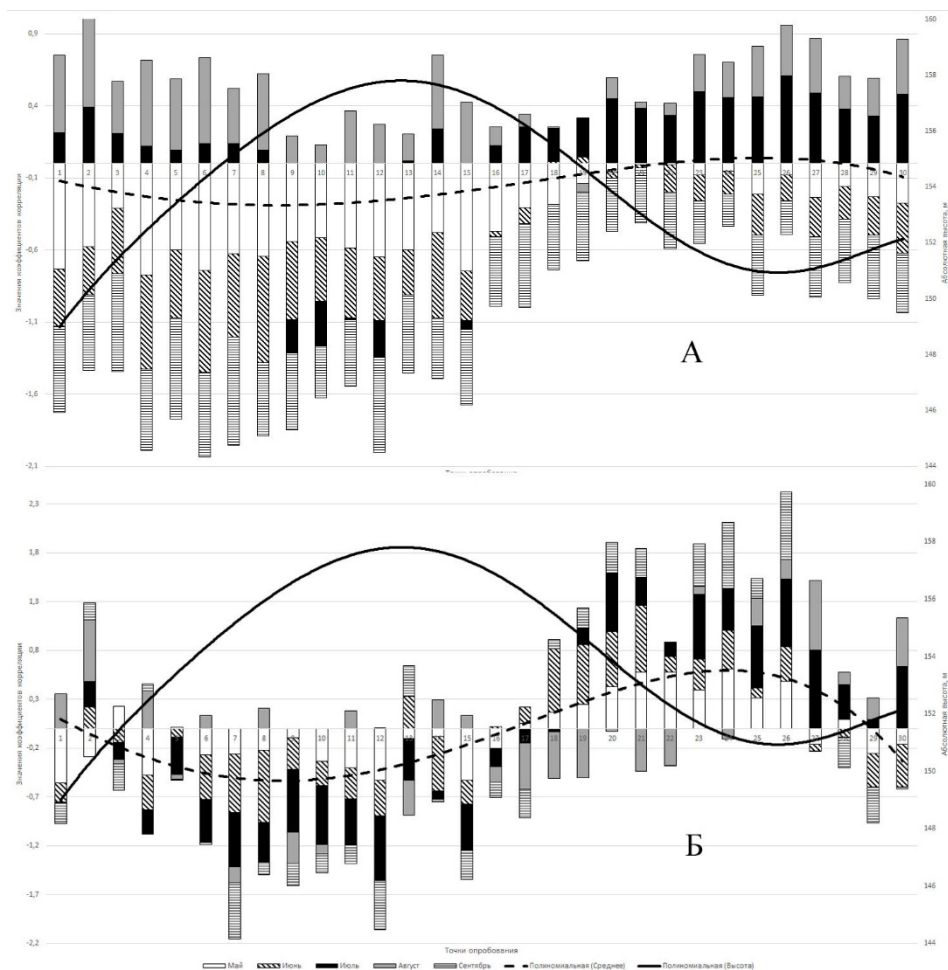


Рис. Результаты корреляционного анализа влияния эффективных температур на различные показатели урожайности пятикомпонентной травосмеси в пределах агроландшафта

На рисунке показаны значения коэффициентов корреляции абсолютных (А) и относительных (Б) показателей урожайности и суммы эффективных температур в каждой точке опробования. Следует отметить, что, во-первых, пространственная динамика средних значений коэффициентов корреляции принципиально не меняется при переходе от абсолютных к относительным единицам измерения урожайности – они отрицательны в местах распространения мощных и среднемощных двучленов и положительны на более тяжелых почвах, однако на графике «Б» эта закономерность более контрастна. Во-вторых, коэффициенты корреляции температур с абсолютными значениями плавно уменьшаются по мере утяжеления гранулометрического состава почв, тогда как на графике «Б» этого не наблюдается. Увеличение сумм температур в предукосные периоды, практически повсеместно приводит к снижению абсолютного урожая трав вследствие ускорения бутонизации и интенсивного

оттока пластических веществ в генеративные органы растений, негативные воздействия оказывают также и высокие температуры в сентябре, при которых травостой сильно отрастает, что затрудняет его перезимовку, положительное влияние высоких температур середины и конца лета объясняется быстрым восстановлением травостоя после укоса.

График «Б» показывает, что увеличение температур практически во все периоды вегетации, как правило, приводит к снижению относительных показателей урожайности трав в местах с господством легких почв и оптимизируют продукционный процесс на супесях и легких суглинках.

Выводы. Мониторинг агроклимата и растительности в агроландшафте позволяет выявить основные черты его внутренней динамики. Различные подходы к формированию банка данных урожайности позволяют выявить разные аспекты протекания динамических процессов в АГС. Переход на относительные единицы измерения урожайности позволяет на порядок уменьшить влияние климата на вариабельность массива данных и проявить другие аспекты его структуры. Максимальное воздействие на урожайность оказывают изменения температуры. При сравнении различных временных рядов урожайности, в разных точках пространства, выявлено, что на склонах холмов воздействие агроклимата на урожай максимально. Усредненные показатели коэффициентов корреляции абсолютной урожайности и эффективных температур отрицательны в местах распространения мощных и среднемощных двучленов и положительны на более тяжелых почвах. Увеличение температур в предуборочные периоды и в сентябре, практически повсеместно приводит к снижению урожая, а положительное влияние температур середины и конца лета объясняется быстрым отрастанием после укоса. Увеличение температур понижает относительные показатели урожайности трав на легких почвах и оптимизируют продукционный процесс на супесях и легких суглинках. Полученные знания позволяют адаптировать к условиям хозяйств мероприятия по размещению травостоев и по регулированию водного и теплового режима почв.

Список литературы

- Точное сельское хозяйство / Под общ. ред. Д. Шпаара, А.В. Захаренко, В.П. Якушева. // СПб., Пушкин, 2009. 397 с.
- Иванов Д.А. Виды динамики состояния мелиорированных агроландшафтов. / Д.А. Иванов. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018, Т. 65. № 4. С. 4–18.
- Иванова Н.Н. Кормовая и средообразующая роль пастбищных травостоев в условиях осушаемых почв Центрального Нечерноземья. / Н.Н. Иванова, А.Д. Капсамун, Н.Н. Амбросимова // Кормопроизводство. 2019. № 4. С. 14–17.
- Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Под редакцией академика РАСХН В. И. Кирюшина, академика РАСХН А. Л. Иванова. Методическое руководство. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 784 с.
- Иванов Д.А. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия (прикладная агрогеография). / Д.А. Иванов, Н.Г. Ковалев // Монография. Тверь, издатель А.Н. Кондратьев, 2017. 310 с.
- Иванов Д.А. Создание ландшафтного полигона нового поколения / Д.А. Иванов, Е.М. Корнеева, Р.А. Салихов, Л.И. Петрова, Л.В. Пугачева, М.В. Рублюк. // Земледелие. № 6. 1999. С. 15–16.
- Bulgakov D.S. The application of the soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia / D.S. Bulgakov, D.I. Rukhovich, E.A. Shishkonakova, et al. // Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. No. 4. Pp. 448–459.
- Борзов А.А. Геоморфология Калининской области / А.А. Борзов // Ученые записки МГУ, Вып. 23. 1938. С. 16–54.

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕНТОНИТОВОЙ ПОРОДЫ С КОЛЛОИДНОЙ ФРАКЦИЕЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

А. В. Козлов¹, А. Х. Куликова², Р. И. Румянцев¹

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина»;

²ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

В работе представлен анализ взаимодействия коллоидных фракций дерново-подзолистой почвы с веществом бентонитовой глины. Появление различных эффектов в виде образования новых химических связей между компонентами органического вещества почвы и глиной может способствовать упрочнению элементарных гумусовых частиц и повышению их устойчивости к деградации.

BENTONITE ROCK INTERACTION ANALYSIS WITH COLLOIDAL FRACTION OF SOD-PODZOLIC SOIL USING IR SPECTROSCOPY

A. V. Kozlov¹, A. Kh. Kulikova², R. I. Rumyantsev¹

¹Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University;

²Stolypin Ulyanovsk State Agrarian University

The paper presents analysis of interaction of colloidal fractions of sod-podzolic soil with substance of bentonite clay. The appearance of various effects in form of new chemical bonds between to components of soil organic matter and clay can help strengthen elementary humus particles and increase their resistance to degradation.

Почвенное органическое вещество, содержащееся в тонких (коллоидных) фракциях, определяет уровень плодородия, необходимый для естественных фитоценозов и агрофитоценозов. За счет мобильного фонда элементов питания, содержащегося в связи с гумусовыми компонентами, последние не только определяют уровень продуктивности почв, но также выполняют базовые физико-химические и биохимические функции почвенного покрова любого биогеоценоза. Содержание и качество гумусовых соединений в любой почве является одним из ключевых критериев устойчивости почвенного покрова, а стратегически значимым направлением развития современной агроэкологии является сохранение естественного органического вещества в пахотных землях и его стабилизация за счет агрохимических средств и мелиоративных приемов (Эволюция..., 2015; Чуков, 2015).

Генезис почв подзолистого типа характеризуется достаточно низким содержанием органического вещества, в том числе и специфической природы, которое в большей доле представлено фульвокислотами и негидролизующим гуминовым остатком. По этой причине удержание уровня гумусированности подзолистых почв при их сельскохозяйственном использовании является ключевым вопросом агрономического почвоведения (Наумов, 2016).

В настоящее время идет активный поиск и апробация альтернативных веществ, которые способствовали бы длительной стабилизации свойств органической матрицы почвы и оптимизации ее плодородия. К таковым относятся полифункциональные природные материалы, в том числе различные глины и породы цеолитового ряда. Рядом исследований выявлено, что данные материалы представляют собой носители специфических активных кремниевых соединений, в том числе каркасного и аморфного строения. Их применение в условиях агроэкосистем в качестве мелиорантов пролонгированного действия способствует стабилизации ионообменной активности и кислотно-основной буферности почв, восполнению почвенного раствора биогенными элементами питания, повышению физиологической устойчивости растений к фитопатогенам и снижению степени подвижности ряда экотоксикантов. Также одним из нераскрытых вопросов остается изучение эффектов от взаимодействия вещества рассматриваемых пород с органической частью почвы (Аканова и др., 2017; Бочарникова и др., 2011).

Цель работы состояла в анализе взаимодействия вещества бентонитовой глины с органическим веществом коллоидной фракции дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при помощи ИК-спектрального анализа.

Объектами исследования явились бентонит Зырянского месторождения (Курганская область) и дерново-подзолистая легкосуглинистая почва Нижегородской области. Исследования были заложены в 2014 году на одном из полей картофелеводческого предприятия ООО «Элитхоз» (Борский район Нижегородской области). В опыте изучали бентонитовую породу, однократно внесенную в гумусо-аккумулятивный слой почвы в середине лета 2014 года в

дозах из расчета 3, 6 и 12 т/га. В годы исследований (2015–2017 гг.) последовательно выращивались озимая пшеница, ячмень и горох посевной. Схема опыта состояла из вариантов: Контроль, Б₁, Б₂ и Б₃ с размером учетной площади делянки в 1 м² и их 4-кратной повторностью; расположение всех делянок опыта было рандомизированным.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднедерновая неглубокоподзоленная неоглеенная легкосуглинистая, сформированная на покровном суглинке. На момент начала исследований почва имела среднекислую реакцию среды (4,8 ед. рН_{KCl}), среднюю гидролитическую кислотность Н_T (2,83 мг-экв/100 г) и средний уровень содержания обменных форм кальция Са⁺⁺ (5,10 мг-экв/100 г) и магния Mg⁺⁺ (1,17 мг-экв/100 г), а также низкое содержание гумуса С_{орг.} (1,2%) и среднюю обеспеченность подвижными формами фосфора Р₂О₅ (86 мг/кг), калия К₂О (110 мг/кг), актуального (16 мг/кг) и потенциального (213 мг/кг) кремния.

Бентонит представляет собой рыхлую мелкопористую полиминеральную глинистую породу сизо-серого цвета, которая состоит из Са-Mg-монтмориллонита, карбонатов легких металлов, каолинита и иных минералов.

Из почвенных образцов выделяли илово-коллоидную фракцию (частицы размером менее 0,001 мм) методом пипетки по Качинскому, которую впоследствии мягко высушивали, растирали и анализировали на ИК-Фурье-спектрометре ФСМ 2201, диапазон частот – 4000–400 см⁻¹, предметные стекла – бромид калия.

ИК-анализ коллоидной составляющей почвы показал наличие кремнийсодержащих органоминеральных комплексов в исследуемых образцах. Взаимодействие бентонита и тонкодисперсных фракций почвы привело к появлению органосиланов (R_nSiH_{4-n}) в небольшой концентрации (935 см⁻¹ – слабый пик) и сопряженных колец пиридинов и хинолинов (слабая полоса поглощения – двойной пик 1219 см⁻¹, средняя полоса – пик 1552 см⁻¹). Выявленные типы химических соединений прямым образом указывают на

формирование органо-минеральных кремнийсодержащих комплексов в исследуемой почве, а также на участие кремния в их образовании.

Также стоит отметить, что в образцах почвы варианта с внесением бентонитовой глины в дозе 6 т/га были обнаружены кремнийсодержащие соединения: цикло-формы $(R_2SiO)_4$ в низких концентрациях (очень слабая полоса поглощения – пик 1065 см^{-1}), а также выявлено наличие эфирных (Si-O-CH₃) связей (очень слабая полоса поглощения – пик 1108 см^{-1}). Кроме того, появление полос поглощения в 2958 см^{-1} и 1466 см^{-1} указывает на наличие в исследуемых образцах почвы азотсодержащих соединений. В образцах также были идентифицированы двойные пики поглощения в области 533 см^{-1} и 633 см^{-1} , которые указывают на неорганическую часть почвенных коллоидов и наличие в них неопределенных бескислородных органических соединений.

В проведенном исследовании выявлены эффекты стабилизирующего воздействия бентонитовой глины на содержание гумусовых компонентов, которое выражалось в образовании различных связей между гуматами и минералами породы, а также за счет поликонденсации кремния на органо-минеральной матрице в виде образования кремнийорганических связей (Si-CH₃; Si-O-CH₃). Выявленные типы физико-химического взаимодействия между активной частью вещества бентонита и тонкодисперсной фракцией дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы могут приводить к упрочнению элементарных гумусовых частиц и повышению их устойчивости к деградации.

Список литературы

Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв / Под ред. В. Н. Кудеярова, И. В. Иванова. М.: ГЕОС, 2015. 925 с.

Чуков С. Н. Формирование и роль гуминовых веществ в биосфере // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 1. С. 8–12.

Наумов В. Д. География почв. Почвы России. М.: Проспект, 2016. 344 с.

Аканова Н. И., Шильников И. А., Ефремова С. Ю., Аваков М. С. Значение химической мелиорации в земледелии и потери кальция и магния из почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 1. С. 28–35.

Бочарникова Е. А., Матыченков В. В., Матыченков И. В. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения // Агрохимия. 2011. № 7. С. 84–96.

ПЛОТНОСТЬ СЛОЖЕНИЯ ПОЧВЫ КАК ОСНОВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ

А. А. Конищев

Ивановский НИИСХ – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»

В настоящее время мировое земледельческое сообщество вступает в период создания и внедрения технологий обработки почвы второго поколения, характеризующееся возможностью обработки снижать влияние погодных условия на урожайность возделываемой культуры. Создавать подобные технологии невозможно без углубленных знаний по динамике влияния плотности сложения различных слоев почвы на развитие растений.

SOIL DENSITY AS THE BASIS FOR IMPROVING GRAIN GROWING TECHNOLOGIES

A. A. Konishchev

The development of soil tillage technologies for continuous sowing crops has reached the stage of creation of the second generation technologies. Creating technologies of the first generation occurred in a "layering" principle, implemented according to the scheme «deep – deep less – shallow». Given that plants for maximum productivity does not need any specific soil density, and the optimal combination: «density – moisture regime», created in layers below the level of seeding during sowing, this led to a chronic predisposition of first-generation technologies to the full dependence of crops on the current weather conditions. Second-level technologies should eliminate the possibility of anthropogenic soil compaction while reducing the dependence of crops on current weather conditions and reducing energy costs for their use. The main factor that is laid down in the development of working bodies and affects the yield of the cultivated crop is the density of the soil. Reducing the dependence of crop productivity on weather conditions is possible if the treated soil layer has a structure differentiated in density, both in the area of the field and in the depth of the arable layer. Now, as the value of optimal soil density, most often use the density value determined before the crop is sown, and spread it over the entire growing season, several years of vegetation, and even the density of the soil in the crop rotation. This indicator turns into a purely formal one, especially taking into account a fairly wide range of its value and averaging over the entire thickness of the arable layer. As a result, almost all first-generation technologies fit into the range of «optimal» density, turning this parameter into an almost meaningless indicator. To create second-generation technologies, it is necessary to know about the impact of each layer of soil separately on the development, and ultimately, on the productivity of the cultivated crop. Determining the value of the optimal soil density in each case is possible using the methodology proposed in the Ivanovo research Institute. Which is based on mathematical processing of dependencies: "density-yield", "density – number of seedlings", "density-tillering coefficient", etc. This method turns the formal indicator "optimal density" of soil compaction into an effective tool for creating second-generation technologies.

Одной из базовых характеристик в агрофизике является плотность и ее разновидности. Применительно к почве в шестидесятые годы прошлого столетия учеными СССР под руководством И. Б. Ревута были сформулированы понятия и определены величины равновесной и оптимальной плотности сложения почвы под различные культуры (Ревут, 1971; Ильин и др., 1969). При этом, непосредственно величина оптимальной плотности, характеризовала целесообразную плотность сложения подготовленной к посеву почвы.

Однако за прошедшие с тех пор годы плотность почвы, по заключению В. В. Медведева, так и не стала активным инструментом совершенствования технологий и средств механизации для их реализации. И используется преимущественно как вспомогательный технический инструмент, например, при определении запаса продуктивной влаги или в качестве ограничительного критерия воздействия на почву ходовых систем мобильных агрегатов (Медведев и др., 2004).

В настоящее время мировое земледельческое сообщество вступает в период создания и внедрения технологий обработки почвы второго поколения. Закономерен вопрос – почему именно второго? На наш взгляд оснований для выдвижения этого тезиса два:

1. Эволюционное. Если брать за точку отсчета зарождение земледелия как такового. Когда человек осознанно сделал в земле лунки и положил в них семена выращиваемой культуры (первобытный прямой посев). Затем, в результате многовекового совершенствования, технологии земледелия развились до применения прямого посева в его сегодняшнем виде (второй ноль).

2. Технологическое. Все технологии, созданные в обозначенный период (между двумя «нулями»), строились по двум одинаковым принципам:

- послойно – плоскостному, когда вся площадь поля, при всех технологических операциях обрабатывалась равномерно на заданную глубину;
- который в свою очередь реализовывался по схеме «глубоко – мельче – совсем мелко» (Конищев, 2019).

На эволюционно – технологический процесс совершенствования технологий накладывают отпечаток общественно – политические и эвристические события в мире. Например, в процесс совершенствования технологий обработки почвы резко вмешались события начала семидесятых годов прошлого столетия, когда произошли три знаковых события:

- это значительное удорожание нефти и ее производных;
- массовый выход на поля тяжелых энергонасыщенных (в большинстве случаев колесных) тракторов;
- изобретение и начало внедрения гербицидов обще истребительного действия (глифосатов).

Если рассматривать к чему привели описанные закономерности и знаковые события, то следует отметить, что появление современных технологий прямого посева способствовало формированию достаточно большой группы ученых и практиков, пропагандирующих окончание «эпохи» вспашки и перехода к повсеместному прямому посеву с высшей его формой – технологией No-till. С другой стороны, при исследовании результатов применения технологий прямого посева, выявилось множество факторов ограничивающих возможности применения данной технологии.

Поэтому, приход ко «второму нулю» не остановил развитие и совершенствование технологий механической обработки почвы. Ответной реакцией на выявленные ограничения стало появление технологий, совмещающих элементы, как традиционной обработки, так и прямого посева – технологии Strip-till.

В технологии Strip-till (создаваемой для пропашных культур, которые наиболее отрицательно отреагировали на посев без обработки почвы) первоначально реализовывалось стремление сэкономить ресурсы, затрачиваемые на обработку почвы. Было предложено механически обрабатывать почву только в зоне непосредственно примыкающей к рядкам растений (отказаться от механической обработки междурядий). В эту (обрабатываемую) зону вносятся и минеральные удобрения. Что суммарно

обеспечивает экономию энергоресурсов за счет снижения объемов механической обработки и рост урожайности за счет повышенной концентрации удобрений в прикорневой зоне растений.

То есть практически при разработке технологий Strip-till, их создатели, отказываются от первого принципа формирования технологий первого поколения – послойно-плоскостного, когда обработка производится равномерно по всей площади поля на одинаковую глубину. Но одновременно сохраняя второй принцип – работа по схеме «глубоко – мельче – совсем мелко», что свидетельствует о некотором недопонимании совершаемых действий разработчиками данной технологии и одновременно о резервах в развитии этих технологий.

То есть зарождение технологий Strip-till можно квалифицировать как начало зарождения технологий второго поколения.

При разработке технологий второго поколения следует учитывать, что переход на более высокий уровень технологий не изменит правил и законов разработки непосредственно самих рабочих органов, реализующих эти технологии. Которые, с позиции теории и практики современной земледельческой механики, разрабатываются исключительно с точки зрения теории деформации почвы. Все рабочие органы представляют собой комбинацию двух- или трехгранного клина, дополненную несущими и транспортирующими элементами конструкции. Поэтому обработка почвы есть процесс внедрения в почвенный слой и последующего перемещения в нём (и по нему) некой объёмной конструкции приводящий к деформации этого слоя. При этом, в зависимости от используемой конструкции воздействующего рабочего органа, деформация может сопровождаться разным по величине перемещением почвенного слоя. Также, в процессе перемещения конструкции, происходит частичное или полное разрушение и последующее смещение любых препятствий встречающихся на пути этих конструкций (в том числе и сорных растений или их корней). То есть, главной функцией почвообрабатывающих рабочих органов является деформация обрабатываемого пласта, а остальные явления,

наблюдаемые при обработке, есть «побочный эффект» этой деформации и конструктивных элементов исполнительных механизмов. А интегральным показателем деформации почвы, учитывающим все результаты воздействия на обрабатываемый слой (крошение, упаковка частиц, пористость, водопроницаемость и т.д.) является изменение плотности сложения обрабатываемого слоя.

Следовательно, основным управляющим фактором, которым обработка почвы может непосредственно влиять на урожайность возделываемой культуры, является обеспечиваемая ею плотность почвы.

При переходе к технологиям второго поколения должна меняться и экономическая основа совершаемых действий. При разработке технологий первого поколения (в первую очередь с различной степенью минимизации обработки) их создатели на первое место ставили экономию энергоресурсов. Но как показывают современные исследования, экономия энергоресурсов при переходе на минимизированные обработки в условиях действующих принципов ценообразования, перемещают затраты на горюче-смазочные материалы, необходимые для реализации технологий, на четвертое – пятое места (а иногда и ниже) в иерархии общих затрат на реализацию технологий. На первые позиции выходят затраты на агрохимические материалы (минеральные удобрения, гербициды и средства защиты растений), стоимость семян и техники (и ее содержания). Поэтому экономия при переходе на минимизированные обработки почвы первого поколения все чаще превращаются в миф, так как для их реализации зачастую требуются дополнительные затраты на дорогостоящие удобрения, гербициды и т. д., перекрывающие по стоимости механическую обработку почвы (Конищев, 2018).

Гораздо более значительное влияние на экономические результаты возделывания зерновых влияют закупочные цены на зерно, которые колеблются в зависимости от полученной в текущем году урожайности в регионе и в стране в целом. В урожайные годы цены падают, а в засушливые – наоборот растут. Соответственно и экономическая эффективность возделывания конкретных

культур зависит от возможности применяемой технологии повышения урожайности при недостатке влаги при одновременном недопущении ее снижения при повышенном увлажнении. То есть технологии обработки почвы второго поколения должны иметь некий компенсационный характер, сглаживающий влияние погодных условий на получаемую урожайность возделываемых культур.

Кроме того, в соответствии с результатами исследований В. Ф. Трушина: «На гомогенно рыхлых, плотных и оптимальной плотности почвенных слоях высокий урожай не осуществим». Необходимо пахотному слою придавать не только оптимальную плотность, но эта плотность должна быть еще и дифференцирована по глубине обработанного слоя (Трушин, 1965). В дальнейшем это положение было подтверждено как отечественными, так и зарубежными учеными и практиками (Пупонин, 1984; Медведев, 2004; Шарков, 2003; Крупп, 1971).

Таким образом, создание технологий обработки почвы второго поколения практически означает необходимость создания управляемого сложения пахотного слоя почвы. Которое невозможно без углубленных знаний по взаимосвязи плотности сложения почвы и урожайности возделываемой культуры. То есть, знаний о том, как при различном увлажнении, в каком слое, в какой период вегетации плотность сложения почвы достоверно влияет на урожайность возделываемой культуры.

Для получения этих данных необходимо менять подход к определению величины оптимальной плотности почвы. Сейчас в качестве величины оптимальной плотности почвы, используют величину плотности, определенную до начала посева культуры, и распространяют ее на всю вегетацию, на несколько лет вегетации и даже на плотность почвы в севообороте. Превращая данный показатель в чисто формальный, особенно с учетом достаточно широкого диапазона его величины и усреднения величины оптимальной плотности по всей толщине пахотного слоя. В результате практически все технологии первого

поколения укладываются в диапазон «оптимальной» плотности, превращая этот параметр в ничего не значащий показатель.

Для создания технологий второго поколения необходимо знание о влиянии каждого слоя почвы в отдельности на развитие, а в конечном итоге, на урожайность возделываемой культуры.

Определение величины оптимальной плотности почвы в каждом конкретном случае возможно при использовании методики, предложенной в Ивановском НИИСХ. Которая основана на математической обработке зависимости: «плотность – урожайность», а при необходимости и промежуточных зависимостей: «плотность – количество всходов», «плотность – коэффициент кущения» и т.д. То есть, методики, превращающей формальный показатель «оптимальная плотность» сложения почвы в действенный инструмент создания технологий второго поколения.

Список литературы

1. Ильин И.Р. Вегетационный метод и физика почвы. Теоретические вопросы обработки почвы, выпуск 2 (Доклады на всесоюзном научно - техническом совещании 17-21 декабря 1968 г.). Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1969, с. 366–371.
2. Ревут И.Б., Соколовская Н.А., Васильев А.М. Структура и плотность почвы – основные параметры, кондиционирующие почвенные условия жизни растений // Пути регулирования почвенных условий жизни растений. Л.: Гидрометиздат, 1971. С. 51–126.
3. Конищев А. А. Прошлое и будущее обработки почвы под зерновые культуры // Аграрный вестник Урала. 2020. № 03 (194). С. 21–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-21-27.
4. Конищев А.А., Гарифуллин И.И., Конищева Е.Н. Исследование причин, побуждающих к переходу на минимизированные обработки почвы // Аграрный вестник Урала, 2019, № 4(183), С. 4-11. DOI: 10.32417/article_5cf94af50de060.92269562
5. Пупонин А.И. Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. М.: Колос, 1984. 184 с.
6. Трушин В.Ф. Влияние на урожай формы поверхности, конструкции пахотного слоя и ложа для семян на оподзоленном и выщелоченном черноземах. Автореферат диссертации доктора сельскохозяйственных наук. Москва, 1965. 35 с.
7. Шарков И.Н., Власенко Н.Г., Новиков В.М. Пивоваренный ячмень в Западной Сибири // Земледелие, 2003. №3. С. 4–6.
8. Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Н. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков, 2004, Изд. «13 типография». 244 с.
9. Крупп Г. Способ обработки почвы, патент СССР № 294273, опубликован 26.01.1971

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ В СМЕШАННЫХ БОБОВО- ЗЛАКОВЫХ ПОСЕВАХ

А. Г. Краснопёров, Н. И. Буянкин

Калининградский НИИ сельского хозяйства –

филиал ФГБНУ «ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В. Р. Вильямса»

Установлено, что макроструктура почв зависит от степени гидроморфизма дерново-подзолистой почвы. Так в почвенных агрегатах различного размера (1–2 мм; 2–3 мм; 3–5 мм; 5–10 мм; больше 10 мм) количество аммонификаторов и иммобилизаторов углерода было больше в мелких фракциях. В мелких фракциях общая биогенность почвы возрастала до 207–58 млн/г, интенсивность дыхания почвы увеличивалась до 42–27 CO₂ мг/кг. Размер почвенных агрегатов определяет количество и состав почвенных микроорганизмов, развивающихся в них.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, размеры почвенных агрегатов, микробный ценоз, средообразующие и сидеральные культуры, севооборот, летние и смешанные посевы.

THE EFFECT OF WATERLOGGING OF SOD-PODZOLIC SOIL ON BIOLOGICAL ACTIVITY IN MIXED CROPS OF LEGUMINOUS-CEREAL CROPS

A. G. Krasnoperov, N. I. Buynkin

Kaliningrad research institute of agriculture – Federal State Scientific Institution

«Federal Williams Research Center of forage production and agroecology»,

E-mail: kaliningradniish@yandex.ru

It was established that in soil aggregates of various sizes (1–2 mm, 2–3 mm, 3–5 mm, 5–10 mm, more than 10 mm), the quantity of ammonifying agents and carbon immobilizers was larger in fine fractions. In fine fractions, the total biogenicity of the soil increased to 207–58 million / g, and the respiration rate of the soil increased to 42–27 CO₂ mg/kg. The size of soil aggregates determines the amount and composition of soil microorganisms developing in them. It was revealed that under the influence of sideral and environment-forming crops in summer and mixed crops, due to the abundance of plant residues in the soil, an active transformation of humic substances.

In crop rotations 3 and 4 decrease in a labile humus of a share of humic acid up to 38–39% and increase of a share less valuable to plants fulvic acids up to 61–62% was observed. Extent of humification of organic matter in the studied crop rotations corresponded to 82, 78, 61 and 64%.

It is established that the phytomass of siderat, making active a bacteriemic soil microflora, rose phungistasis, reduced infectious potential and protected plants from defeat by phytopathogens. As a result the incidence of root decay of a winter wheat decreased to 15%, summer barley up to 20%. The productivity of crops in crop rotations reached 199,6 – 42,7 – 35,25 – 34,4 centners/hectare.

Regulating a structural condition of the cespitose and podsollic soil, it is possible to influence quantity of the soil microorganisms defining intensity of the soil and biological processes happening in the soil and, as a result of it, its fertility.

Keywords: cespitose and podsollic soil, sizes of soil units, microbial cenosis, environment-forming and sideral cultures, crop rotation.

Ключевая роль в формировании и воспроизводстве почвенного плодородия, оптимизации питания растений, защите посевов от фитопатогенов в большей степени принадлежит почвенным микроорганизмам, основная масса которых является гетеротрофами, т. е. нуждается в готовом органическом веществе (Куркина, Ващейкин, Дедков, Красноперов, 2013].

Цель исследований – установление связи агрофизических параметров с биологической активностью дерново-подзолистой почвы в смешанных посевах озимых и яровых бобово-злаковых культур.

Исследования проводили в 2015–2018 гг. на стационаре опытного поля отдела земледелия Калининградского НИИ сельского хозяйства. Изучение агрофизических и агрохимических свойств пахотного горизонта (0–20 см) на делянках площадью по 100 м² с одновидовыми и смешанными посевами озимых и яровых бобово-злаковых культур проводилось в двух четырехпольных и двух пятипольных севооборотах (табл. 1).

Таблица 1. Схема результате чередования культур опытном в опытных севооборотах на стационаре вика в 2018 году

1	Ячмень konferencija Нур +люпин узколистный Белозерный 110	I севооборот	I повторность
2	Овес Буг +вика Юбилейная 110		
3	Тритикале буянкин Корнет+озимая вика узколистный Калининградская 6		
4	Люпин узколистный Витязь		
5	Овес овес Буг+пелюшка Зарянка	II севооборот	
6	Люпин узколистный Азуро		
7	Картофель Сиреневый конкурентны туман		
8	Овес Буг +вика сравнению Юбилейная 110		
9	Пшеница среднем озимая Скипетр	III севооборот	
10	Овес Буг +вика одновидовые Юбилейная 110		
11	Картофель виковой Сиреневый туман		
12	Пшеница пещаев яровая Дарья+Люпин белый Дега		
13	Люпин Сидерат-38		
14	Тритикале опытном Торнадо+озимая вика отвальная Калининградская 6	IV севооборот	
15	Люпин узколистный Витязь		
16	Ячмень Нур+люпин thlaspi узколистный Белозерный 110		
17	Пшеница препаратов озимая Скипетр		
18	Картофель Сиреневый численности туман		

В исследованиях сочетали агрофизические, микробиологические, биохимические и агрохимические методы.

По оценке агрофизических свойств, выявлено, что равновесная плотность пахотного горизонта почв неоднородна. Наиболее уплотненной является почва дерново-сильноглееватая легкосуглинистая (ТБ3), находящаяся на пологом склоне и сформировавшаяся подпахотной верховодкой (табл. 2).

Таблица 2. Равновесная плотность почв на опытном участке отдела земледелия под смешанными посевами

Почва	Горизонт, глубина, см	Плотность, г/см ³
Дерново-среднеглееватая среднесуглинистая, ТБ1	Ап 0–20	1,29
	В1g 25–40	1,35
Дерново-сильноглееватая легкосуглинистая, ТБ3	Ап 0–20	1,43
	В1g 25–40	1,53
Дерново-глееватая среднесуглинистая, ТБ4	Ап 0–20	1,16
	В1g 25–40	1,44

В результате проведения анализа агрегатного состава, выяснилось, что почвы характеризуются удовлетворительным состоянием по данным сухого рассева. Структура глыбистая. Это следствие применения отвальной вспашки по сырой почве (выше НВ). Процент глыбистой фракции закономерно увеличивается от среднеглееватой почвы ТБ1 к сильноглееватой почве ТБ3. Следовательно, макроструктура почв зависит от степени гидроморфизма (Краснопёров, Буянкин, Анцифорова, 2017). Чем выше период переувлажнения почв, тем более глыбистой становится структура при сухом рассеве (табл. 3).

Таблица 3 – Агрегатный состав почвы на полевом стационаре отдела земледелия под летними и смешанными посевами

Горизонт, глубина, см	Размер фракций, мм, содержание, %									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	10-0,25
Дерново-среднеглееватая среднесуглинистая, ТБ1										
Апах 0–20	56,69	10,53	7,83	<u>8,33</u> 4,2	<u>2,24</u> 3,9	<u>5,36</u> 13,0	<u>4,01</u> 16,7	<u>2,49</u> 13,0	<u>2,46</u> 40,6	<u>35,4</u> 59,4
Дерново-сильноглееватая легкосуглинистая, ТБ3										
Апах 0–20	86,50	3,63	2,55	<u>2,65</u> 1,64	<u>0,65</u> 1,26	<u>1,54</u> 5,67	<u>0,51</u> 9,76	<u>0,30</u> 7,29	<u>0,40</u> 29,58	<u>12,05</u> 70,42
Дерново-глееватая среднесуглинистая, ТБ4										
Апах 0–20	51,3	11,4	7,7	<u>9,70</u> 3,18	<u>2,80</u> 3,0	<u>6,80</u> 9,9	<u>4,80</u> 18,42	<u>3,30</u> 16,54	<u>2,20</u> 49,0	<u>46,5</u> 51,0

По данным мокрого просеивания установлено, что водопрочность агрегатов увеличивается с нарастанием степени гидроморфизма. Это результат насыщения почвенного поглотительного комплекса ионами кальция на фоне повышенного содержания гумуса. В условиях интенсивного использования пашни общей закономерностью являлось существенное снижение доли агрономически ценных агрегатов. К наиболее чувствительным компонентам почвенной агрономически ценной структуры можно отнести мезоагрегаты размером в интервале от 2 до 5 мм, отмечалось наиболее заметное уменьшение их относительного содержания.

Установлены закономерности изменения активности почвенных микроорганизмов в почвенных агрегатах различных фракций, которые раскроем на примере первого севооборота, характеризующемся наибольшей микробиологической активностью. Распределение состава микробного ценоза во фракциях различного размера агрегатов дерново-подзолистой почвы выглядело следующим образом (рис. 1).

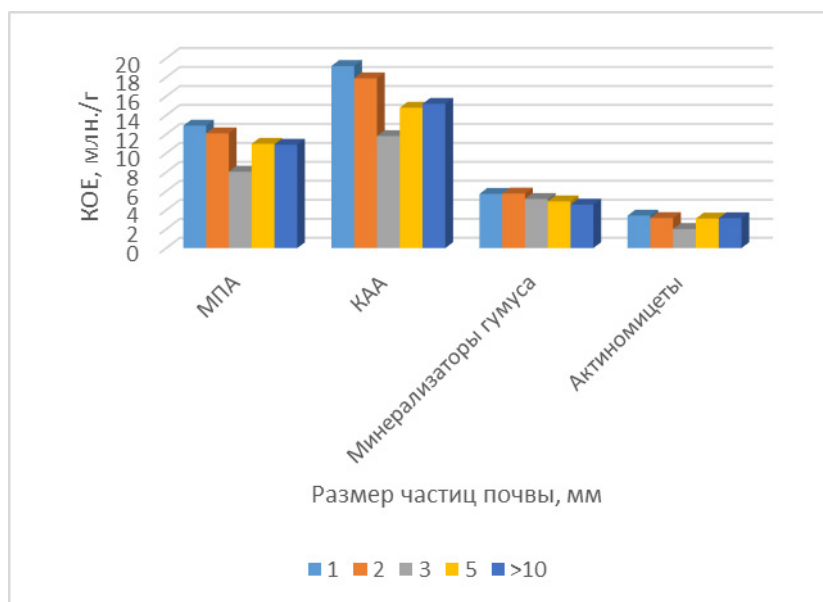


Рисунок 1 – Состав микробного ценоза во фракциях различного размера почвенных частиц

Максимальное количество аммонификаторов, было характерно для агрегатов с минимальным размером 1–2 мм. Увеличение размера структурных отделностей вызывает закономерное снижение их активности. Причем,

минимальная активность в почве первого севооборота отмечена в агрегатах размером 3 мм – 7,7 млн КОЕ, во фракции 5 мм – 8,2 млн КОЕ. Общей закономерностью является снижение количества микроорганизмов с увеличением размера агрегатов, что подтверждается высоким коэффициентом корреляции – $r = -0,91 \pm 0,17$.

Соотношение КАА:МПА показывает отношение общей численности микроорганизмов, использующих минеральный азот к общему числу микроорганизмов, разлагающих органическое вещество (Турусов, Дронова, 2014) и составило в первом севообороте число 1,4.

В почве с различной скоростью протекали процессы минерализации и гумификации растительно-корневых остатков. Увеличение размера мезоагрегатов вызывает снижение активности минерализаторов гумуса. Это подтверждает высокий коэффициент парной корреляции, который составил величину $r = -0,95 \pm 0,11$.

Наличие аэробной фиксации азота оценивается по встречаемости в почве бактерий рода *Azotobacter* (Гордеева, Новоселов, 2014). В пахотном горизонте почвы численность азотофиксирующих бактерий изменялась в пределах 28–73 колоний в 50 г почвы. Наибольшая численность азотобактера в глыбистых частицах первого севооборота (> 10 мм) и во фракции 1–2 мм – 65 и 73 колоний в 50 г почвы (рис. 2).

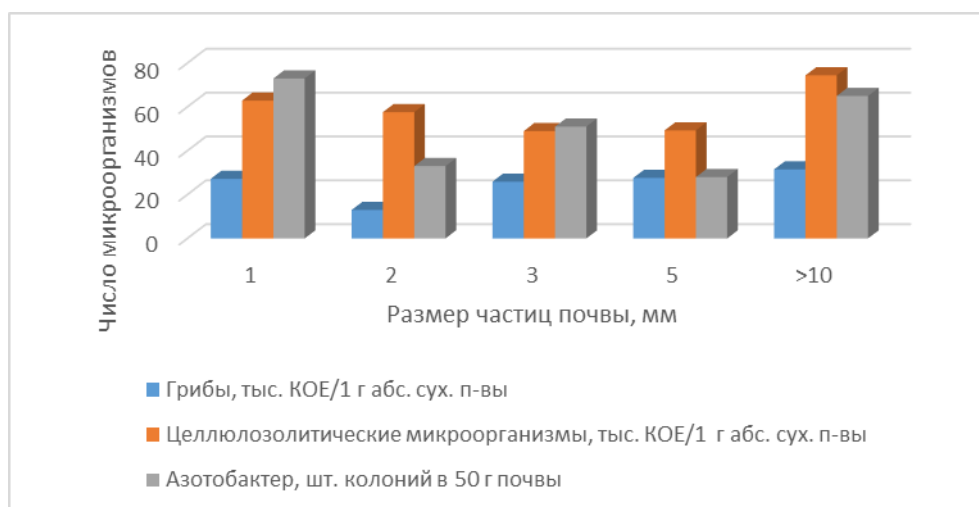


Рисунок 2 – Состав микробного ценоза во фракциях различного размера почвенных частиц дерново-подзолистой почвы.

Весной, спустя 10 месяцев после запахивания зелёной массы люпина продолжалось его разложение, на что указывают коэффициент минерализации 1,67, численность бактерий, использующих минеральный азот – 50 млн/га, органический азот – 30, спорных 9, активность разложения целлюлозы 18%.

Это также подтверждают 33 млн/г олиготрофных бактерий, потребляющих углерод на конечной стадии разложения органики, и коэффициент олиготрофности 0,41. Общая биогенность почвы составила 168 млн/г, дыхание почвы 38 CO₂ мг/кг. Наблюдалась активизация нитрифицирующих бактерий, их потенциальное нитратонакопление составило 40,7 мг/100 г. Численность олигонитрофилов, фиксирующих азот из атмосферы, 29 млн/г (рис. 3).

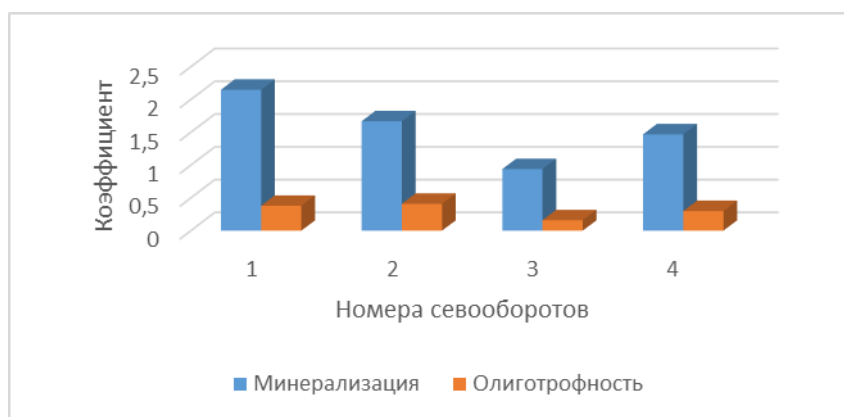


Рисунок 3 – Коэффициенты, отражающие активность биологических процессов в почвах севооборотов

Активная деятельность полезной почвенной микрофлоры приводила к повышению почвенного плодородия и урожайности. Так средняя урожайность зерна озимой пшеницы сорта Скипетр составила 54,7 ц/га.

Таким образом, установлено, что макроструктура дерново-подзолистой почвы зависит от степени её гидроморфизма.

Регулируя режим гидроморфизма дерново-подзолистой почвы, можно влиять на количество почвенных микроорганизмов, определяющих интенсивность почвенно-биологических процессов, происходящих в дерново-подзолистой почве, и, как следствие этого, на её плодородие и урожайность.

Список литературы

1. Куркина М.В. Сравнительный анализ групп микроорганизмов в естественных и антропогенно измененных бурых лесных почвах калининградского полуострова / Куркина М.В. Ващейкин А.С., Дедков В.П., Красноперов А.Г. // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2013. № 7. С. 8–14.
2. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. М., 2004. 157 с.
3. Красноперов А.Г. Корректировка агротехнологических приемов возделывания бобово-злаковых посевов с учетом гидроморфизма почвы / Красноперов А.Г., Буянкин Н.И., Анцифирова О.А. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. № 3 (23). С. 75-81.
4. Турусов В. И. Влияние основной обработки и агрохимикатов на микробиологический состав почвы / Турусов В. И., Дронова Н. В. // Модернизация агротехнологий в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Каменная Степь, 18–19 июня 2014. С. 141–144.
5. Гордеева Т.Х. Микрофлора почвы и продуктивность смешанных бобово-злаковых агроценозов. / Гордеева Т.Х., Новоселов С.И. // Фундаментальные исследования, 2014. № 11. С. 99–105

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ НЕФТЬЮ

А. В. Леднев

ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (УдмФИЦ УрО РАН)

Внесение органических удобрений и различных структурообразователей (опила, низинного торфа, ячменной соломы, вермикулита, костры льняной и лигнина) позволило значительно снизить плотность, улучшить структуру и водно-воздушные свойства нефтезагрязнённых почв, что ускорило процесс разложения в ней нефти.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-416-180005 р_а.

INFLUENCE OF VARIOUS AGROTECHNICAL AND AGROCHEMICAL TECHNIQUES ON AGROPHYSICAL INDICATORS OF AGRO-SOD-PODZOLIC SOILS CONTAMINATED WITH OIL

A. V. Lednev

FSBSI «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences» (UdmFRC UB RAS)

This article shows the effect of oil itself, the application of organic fertilizers (cattle compost) and various structure-forming agents on the agrophysical properties of oil-contaminated soil. The following were studied as structure-forming agents: sawdust, lowland peat, barley straw, vermiculite, flax waste and lignin. The number of added structure-forming agents corresponded to 1/8 of the total contaminated arable horizon. It was established that oil pollution, first of all, has a negative effect on the water-air properties of the soil, reduces field moisture by 1.78% and, as a result, productive moisture reserves by 49 m³/ha (compared to unpolluted soil). The introduction of ameliorative additives into contaminated soil helped not only to achieve the benchmark (without oil) by productive moisture reserves, but also to significantly exceed it. The greatest effect on productive moisture had the introduction of vermiculite into the soil, an increase of 115 m³/ha or 50.7%.

It was established that the introduction of ameliorative additives in oil-contaminated soil contributed to the improvement of the soil structure, however, to varying degrees. A statistically significant increase in the structural coefficient was ensured only by the introduction of sawdust, straw and flax waste into the soil (increase by 0.83-0.99 units or by 35-43%). All reclamation additives provided a significant reduction in soil density, the greatest impact on this indicator had flax waste (0.42 g/cm³ or 32%) and sawdust (0.34 g/cm³ or 26%). It is necessary to note the positive effect of the application of organic fertilizers on the agrophysical parameters of oil-contaminated soil, they reduced the soil density by 0.29 g/cm³ or 22.3% and increased the reserves of productive moisture by 51 m³/ha or 22.4%.

Improving the agrophysical properties of oil-contaminated soils has significantly reduced the degree of contamination. The introduction of organic fertilizers showed the highest efficiency; they reduced the amount of residual oil products in the soil compared to control (single loosening) by 52.8%.

This work was supported by the RFBR grant No. 18-416-180005 r_a.

Нефтедобывающий комплекс оказывает сильное отрицательное влияние на окружающую среду, в том числе на почвенный покров. Только в 2018 г. по официальной статистике Минэнерго России на предприятиях топливно-энергетического комплекса произошло 13612 порыва трубопроводов, в том числе 8126 нефтепроводов, на поверхность почвы и в водоёмы попало 2269 м³ нефти, загрязнено 7430,8 га земель, общий ущерб от происшедших аварий составил 488,2 млн. руб. (Государственный доклад, 2019).

Влияние нефтяного загрязнения на почвенный покров определяется целым рядом разносторонних факторов: видом нефти (товарная, сырая, нефтеводосолевая эмульсия), дозой загрязнения, периодом загрязнения и индивидуальными почвенно-климатическими особенностями земельных участков. Все эти факторы необходимо учитывать при разработке мероприятий по рекультивации нефтезагрязнённых почв.

В большом количестве исследований установлено, что в первые месяцы после загрязнения нефть оказывает, в первую очередь, токсикологическое воздействие на биоту почвы, что связано с действием её низкомолекулярных фракций (Солнцева, 1998; Гилязов, Гайсин, 2003; Леднев, 2018 и др.). По мере их испарения и физико-химического разложения, на первое место по негативному влиянию нефти на биологические свойства почвы выходит резкое ухудшение её агрофизических свойств.

К агротехническим и агрохимическим приёмам, оказывающим наиболее значительное влияние на агрофизические свойства почвы, относятся различные виды обработки почвы, внесение органических удобрений, различных разрыхлителей почвы, заделка сидератов и послеуборочных остатков. Если действие этих агроприёмов на повышение плодородия основных типов почв хорошо известно, то их влияние на свойства загрязнённых почв до сих пор остаётся дискуссионным.

Для выявления эффективности различных мероприятий на процесс биологической рекультивации нефтезагрязнённых почв в Удмуртском НИИСХ была заложена серия полевых опытов. В данной статье показаны результаты

влияния внесения самой нефти, органических удобрений и различных структурообразователей на их агрофизические свойства. В качестве структурообразователей изучали: опил, низинный торф, ячменную солому, вермикулит, костру льняную и лигнин. Количество внесённых структурообразователей соответствовало 1/8 части от общего объёма загрязнённого пахотного горизонта. Все эти мелиоративные добавки (за исключением компоста) одновременно являлись носителями олеофильного биопрепарата нового поколения, разработанного Пермским институтом экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН.

В числе агрофизических свойств особо важное значение имеет структура почвы, то есть её способность агрегатироваться и распадаться на относительно устойчивые отдельные части. Структура во многом определяет водно-воздушный и тепловой режим почв.

Одним из показателей структурного состояния почв является коэффициент структурности, который определяется отношением массы агрегатов 10,0-0,25 мм к сумме агрегатов > 10 мм и < 0,25 мм. Действие нефтяного загрязнения на этот показатель неоднозначно и зависит от его дозы и периода нахождения нефти в почве. Влияние различных уровней загрязнения нефтью дерново-подзолистых почв на коэффициент структурности показано в табл. 1 (по данным полевого опыта, заложенного на опытном поле Удмуртского НИИСХ в 2017 г.).

Таблица 1. Влияние различных концентраций нефти на показатели структуры почвы (метод сухого просеивания, третий год после загрязнения)

Вариант опыта	Содержание агрегатов, % от массы воздушно-сухой почвы			Коэффициент структурности (K _c)
	> 10 мм	< 0,25 мм	> 0,25 – < 10 мм	
1. Без загрязнения	59,9	1,7	31,4	0,62
2. Нефть 1 %	55,2	1,7	43,1	0,78
3. Нефть 3 %	42,1	4,5	53,4	1,15
4. Нефть 5 %	40,4	3,0	56,6	1,31
5. Нефть 7 %	36,7	2,3	61,0	1,56
6. Нефть 10 %	28,0	1,1	70,9	2,44
НСР ₀₅				0,15

Данные таблицы свидетельствуют, что загрязнённые почвы приобретают более высокую потенциальную оструктуренность. По мере повышения загрязнения коэффициент структурности (K_c) увеличивается с 0,62 в контроле (без нефти) до 2,44 в варианте с максимальной концентрацией нефти. Улучшение структуры произошло как за счёт уменьшения глыбистой, так и пылевой фракций. Однако подобное действие нефти проявляется только через какое-то время компостирования её в почве. В другом полевом опыте, заложенном в 2019 году на опытном поле Удмуртского НИИСХ, доза нефтяного загрязнения 10% оказала только небольшое оструктурирующее действие, склеивая частицы пылевой фракции между собой, что привело к повышению коэффициента структурности на 0,05 ед. Однако это отмеченное изменение происходило только на уровне положительной тенденции (табл. 2).

Неоднозначное действие нефтяного загрязнения на структуру почвы отмечено и другими исследователями (Габбасова и др., 2002; Гилязов, Гайсин, 2003; Сулейманов Р. Р. и др., 2005 и др.). С одной стороны, они свидетельствуют о повышении агрегатированности, вызванное слипанием почвенных частиц и агрегатов мелких фракций между собой. За счет этого уменьшается на 10...50 % содержание фракции $< 0,25$ мм (Гилязов, Гайсин, 2003). С другой стороны, при высоких уровнях загрязнения нефтью, отмечают слипание более крупных агрегатов между собой, что вызывает значительное увеличение глыбистой фракции (Сулейманов Р. Р. и др., 2005). Этим объясняется, что в одних случаях после нефтяного загрязнения наблюдается уменьшение коэффициента структурности в почве (Гилязов, Гайсин, 2003; Сулейманов Р. Р. и др., 2005), а в других случаях – его увеличение (Габбасова и др., 2002; Леднев, 2018).

Таблица 2. Влияние мелиоративных добавок на изменение структурного состояния нефтезагрязнённой почвы (21.07.2019 г.)

Варианты	Размер агрегатов (мм) и их содержание (% от массы воздушно-сухой почвы)										K _c
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25	0,25-10	
Без нефти (абс. к-ль)	22,0	7,0	8,5	16,1	10,5	17,1	3,1	7,1	8,6	69,4	2,27
Нефть 10 % (к-ль)	22,2	6,8	8,6	16,6	10,5	17,0	3,2	7,2	7,9	69,9	2,32
Фон + опил	18,4	8	9,7	19,7	12,2	17	3	6,8	5,2	76,4	3,24
Фон + торф	22,6	8,6	9,1	17,6	10,3	17,8	3,3	6,8	3,9	73,5	2,77
Фон + солома	19,3	8,4	9,7	18,5	11,5	18,4	3,6	6,7	3,9	76,8	3,31
Фон + вермикулит	25,1	7,5	9,6	16,1	9,8	18,5	2,7	6,3	4,4	70,5	2,39
Фон + костра	18,0	7,6	10,8	19,2	9,8	15,9	4,1	8,5	6,1	75,9	3,15
Фон + лигнин	22,8	7,9	8,3	15,9	10,6	19	3	7,3	5,2	72,0	2,57
Фон + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + навоз 30 т/га	19,9	7,9	9,4	17,8	12,3	17,2	2,5	5,3	7,7	72,4	2,62
НСР ₀₅											0,82

Внесение мелиоративных добавок в нефтезагрязнённую почву способствовало улучшению структуры почвы, однако, в различной степени. Статистически достоверное повышение K_c обеспечило только внесение в почву опила, соломы и льняной костры (повышение на 0,83–0,99 ед. или на 35–43 %).

Другим важнейшим агрофизическим показателем почв, определяющим её водно-воздушные свойства, является плотность почвы. Проведёнными исследованиями установлено, что нефтяное загрязнение обусловило уменьшение этого показателя на 0,03 г/см³, однако оно статистически не доказывалось и проявлялось только на уровне тенденции (табл. 3). Это уменьшение связано с тем, что, во-первых, нефть способствует к некоторому улучшению структуры почвы, во-вторых, она сама имеет низкую плотность – 0,830–0,926 г/см³. Внесение всех изучаемых мелиоративных добавок резко и статистически достоверно снизило плотность загрязнённой почвы, наиболее действие на этот показатель оказала костра льняная (на 0,42 г/см³ или на 32%) и опил (на 0,34 г/см³ или на 26%).

Таблица 3. Влияние мелиоративных добавок на изменение плотности и влажности нефтезагрязнённой почвы (21.07.2019 г.)

Варианты	Плотность почвы, г/см ³		Полевая влажность, %		Продуктивная влага, м ³ /га	
	знач.	отклон., +/-	знач.	отклон., +/-	знач.	отклон., +/-
Без нефти (абс. к-ль)	1,30	–	10,85	–	227	–
Нефть 10 % (к-ль)	1,27	–0,03	9,08	-1,78	178	–49
Фон + опил	0,95	–0,34	17,95	7,10	296	69
Фон + торф	1,05	–0,25	18,35	7,50	287	60
Фон + солома	1,11	–0,19	13,08	2,23	243	16
Фон + вермикулит	1,08	–0,22	18,50	7,65	342	115
Фон + костра	0,88	–0,42	17,23	6,38	267	40
Фон + лигнин	1,14	–0,15	14,88	4,03	228	1
Фон + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + навоз 30 т/га	1,01	–0,29	16,28	5,43	278	51
НСП ₀₅	–	0,08	–	4,63	–	–

Нефтяное загрязнение способствовало снижению полевой влажности на 1,78% и, как следствие, запасов продуктивной влаги на 49 м³/га. Это связано с двумя причинами. Во-первых, нефть резко увеличивает водопрочность агрегатов, коэффициент водопрочности достигает 0,7–1,0 (Габбасова и др., 2002; Гилязов, Гайсин, 2003; Сулейманов и др., 2005 и др.). Появление этого свойства обусловлено гидрофобностью агрегатов загрязнённых почв и поэтому не является положительным изменением, образуется так называемая «псевдоводопрочность». В результате её появления воде очень сложно проникнуть в почвенные агрегаты и поэтому она не впитывается в почву, а стекает по её поверхности или просачивается в нижние горизонты по крупным порам. Второй причиной снижения влагоёмкости почвы является закупорка нефтепродуктами макро- и микропор в почвенной толще (Гилязов, Гайсин, 2003; Леднев, 2018). По нашим данным (Леднев, 2018) общая порозность загрязнённой почвы снижается на 20–30 и более процентов.

Внесением в загрязнённую почву мелиоративных добавок удалось не только достичь по запасам продуктивной влаги контрольного показателя (варианта с незагрязнённой почвой), но и значительно его превысить.

Наибольшее действие на продуктивную влагу оказало внесение в почву вермикулита (увеличение на 115 м³/га или на 50,7%).

Необходимо отметить положительное действие на агрофизические показатели нефтезагрязнённой почвы внесения органоминеральных удобрений, они снизили плотность почвы на 0,29 г/см³ или на 22,3% и увеличили запасы продуктивной влаги на 51 м³/га или на 22,4 %.

Улучшение агрофизических свойств нефтезагрязнённых почв позволило значительно снизить степень её загрязнения. Даже простое периодическое рыхление два раза за летний период позволило снизить к концу вегетации содержание нефтепродуктов на 68 %, что свидетельствует о достаточно высокой способности дерново-подзолистых почв южной тайги к процессу самовосстановления. Внесение всех мелиоративных добавок в загрязнённую почву обеспечило дополнительное снижение в ней остаточного содержания нефти. Наиболее высокую эффективность показало внесение органоминеральных удобрений, они дополнительно снизили количество нефтепродуктов в почве, по сравнению с контролем (одним рыхлением), на 52,8%.

Список литературы

Габбасова И. М., Хазиев Ф. Х., Сулейманов Р. Р. Оценка состояния почв с давними сроками загрязнения сырой нефтью после биологической рекультивации // Почвоведение. 2002. № 10. С. 1259–1273.

Гилязов М. Ю., Гайсин И. А. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан. Казань: Фэн, 2003. 228 с.

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды РФ, 2019.

Леднёв А. В. Изменение свойств почв европейской части Нечерноземной зоны РФ под действием продуктов нефтедобычи и приемы их ремедиации. Ижевск: Цифра, 2018. 229 с.

Солнцева Н. П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.

Сулейманов Р. Р., Габбасова И. М., Ситдииков Р. Н. Изменение свойств нефтезагрязненной серой лесной почвы в процессе биологической рекультивации. Известия российской академии наук. Серия биологическая. 2005. № 1. С. 109–115.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЖИДКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ КАС В КОМБИНИРОВАННОМ КОРНЕВОМ И ЛИСТОВОМ ПИТАНИИ

В. А. Милюткин¹, Н. Г. Длужевский, О. Н. Длужевский²

¹ФГБОУ ВО Самарский государственный аграрный университет (СамГАУ);

²Публичное акционерное общество ПАО «КуйбышевАзот»

В статье, в соответствии известным процессом поглощения азота растениями в процессе вегетации, рассматривается эффективность внесения жидких минеральных удобрений на базе КАС (ПАО «КуйбышевАзот») в качестве предпосевного удобрения, прикорневых и листовых подкормок с помощью машин и оборудования фирмы АО «Евротехника» немецкой компании «AMAZONEN Werke».

EFFICIENCY OF LIQUID MINERAL FERTILIZERS OF CAS IN COMBINED ROOT AND SHEET FOOD

V. A. Milyutkin¹, N. G. Dluzhevsky, O. N. Dluzhevsky²

¹FSBEI HE Samara State Agrarian University (SamSAU);

²Public Joint-Stock Company PJSC KuibyshevAzot

In accordance with the well-known process of nitrogen absorption by plants during the growing season, the article discusses the efficiency of applying liquid mineral fertilizers based on CAS (PAO KuibyshevAzot) as a pre-sowing fertilizer, root and leaf dressing with the help of machinery and equipment of the company JSC «Eurotechnics» of the German company «AMAZONEN Werke».

Оптимальное питание растений – один из главнейших факторов получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур с хорошим качеством продукции. При этом важнейшим химическим элементом в питании – является азот, который содержится в различных удобрениях в различных формах. КАС – это единственное на сегодняшний день азотное удобрение, которое содержит три формы азота, благодаря чему данное удобрение действует пролонгировано за счет:

- нитратного азота (8%) – обеспечивается его мгновенное усвоение;
- аммонийного азота (8%), который в процессе нитрификации переходит в нитратную форму,
- амидного азота (16%), который в результате деятельности почвенных микроорганизмов переходит в аммиачную форму, а затем - в нитратную.

КАС работает как через листья, так и через корни: через листовую поверхность усваивается амидная форма, а нитратная и аммонийная формы – через корневую систему. При этом через листья усваиваются только азотные

удобрения. Для внесения твердых минеральных азотных удобрений нужна влага, чтобы гранулы смогли раствориться и впитаться корнями растений. Но в условиях, например, агроклиматической зоны Поволжья и других аналогичных зон РФ рискованного земледелия с часто-повторяющимися засухами, такой период, когда влага доступна и находится в необходимом количестве, очень непродолжителен. Переход на жидкие азотные удобрения на основе КАС-32 расширяет сроки внесения удобрений, тем самым снижая нагрузку на технические системы и гарантированно обеспечивая подкормку культур азотом, уменьшая риск «непопадания в агротехнические сроки».

Для оптимизации системы питания зерновых, масличных и овощных культур известное в РФ предприятие ПАО «КуйбышевАзот» разработало и запустило в производство в 2018 г. новое жидкое азотное удобрение с серой КАС-32+S и КАС-32+РПС. КАС-32+S – это комбинация карбамидно-аммиачной смеси (КАС-32) с водорастворимым серосодержащим удобрением. Технология ПАО «КуйбышевАзот» предполагает добавление в КАС-32 маточного раствора сульфата аммония. В итоге конечный продукт содержит 23–24% азота и 3,6% серы, где сера и азот находятся в соотношении 1:6 и являются наиболее эффективными для использования сельхозкультурами питательных элементов, в том числе фосфора и микроэлементов. При этом на зерновых культурах в стадии кущения используют дефлекторные форсунки на полевых опрыскивателях, а на пропашных, овощных культурах и на поздней стадии зерновых – применяются шланги-удлинители. Продукт КАС-32+S объединил все преимущества карбамидно-аммиачной смеси и твердых серно-азотных удобрений. Удобрение создано для питания культур с высоким потреблением серы, таких как все зерновые, соя, рапс, кукуруза, подсолнечник и корнеплоды и т. д. Жидкая форма способствует ускорению усвоения питательных веществ и высокоэффективна в условиях низкого содержания влаги, особенно при засухах. Более того, благодаря синергии азота и серы, и соотношению 1:6, оба элемента усваиваются наиболее полно и обеспечивают сбалансированное развитие растений. Удобрение можно вносить как при основной и предпосевной обработках почвы,

так и в качестве корневых и внекорневых подкормок, при чем в наших опытах использовалась высокоэффективная техника АО «Евротехника» (Милюткин и др., 2016–2019). КАС пригоден для использования в баковых смесях со средствами защиты растений и его можно смешивать с водой для снижения концентрации во время обработки в поздние сроки вегетации. Исследования проводились на опытных полях Самарского ГАУ на тяжело-суглинистых черноземах в острозасушливые 2018-2019 годы на яровой твердой пшенице, кукурузе на зерно, подсолнечнике, сое. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный, остаточно-карбонатный, среднегумусный 4–6 (4, 6), среднемошный, тяжелосуглинистый с содержанием легко-гидролизуемого азота со средней степенью обеспечения N – 41,0–50,0 (48) мг/кг, с низким содержанием общего азота 0,10–0,30 (23)%, со средним содержанием подвижного фосфора P – 50–100 (73) мг/кг и очень высоким содержанием подвижных соединений калия K – более 250 млн, низким содержанием подвижной серы S 1–4 (0–6), рН почвы равнялось 5,0–8,0 (7,4) ед. Перед проведением исследований дополнительно для расчетов, необходимых для определения оптимальных норм внесения минеральных удобрений с учетом агрохимических рекомендаций, в 2018 и 2019 годах была проведена оценка почвы по количественному составу элементов: N, P, K, S, Cu, Fe, Mn, Ph, органическое вещество – гумус (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика плодородия опытного участка для расчетов потребности в удобрениях, 2019 г.

Агрохимические показатели	Ед. изм.	Фактически	Норматив	Степень обеспеченности
Массовая доля орг. вещ-ва	%	4,6	4–6	средняя
Кол-во легкогидролизуемого азота	мг/кг	48	41–50	средняя
Общий азот	%	0,23	0,35–0,50	низкая
Массовая доля K ₂ O (подвижные соединения калия)	млн ⁻¹	588	>250	очень высокая
Массовая доля P ₂ O ₅ (подвижные соединения фосфора)	млн ⁻¹	73	50–100	средняя
Сера (подвижная форма)	мг/кг	1–4	0–6	низкая
Медь	мг/кг	менее 1,0	0,5–3,0	средняя

Сложившиеся летние сезоны в 2018–2019 годах характеризуются как острозасушливые и жаркие по сравнению со среднемноголетними.

Развернутая схема опыта по каждому варианту внесения представлена в таблице 2. По каждой культуре предусмотрено 3 срока внесения: 1) до посева (под предпосевную обработку) (60% дозы); 2) фаза интенсивного роста (30 % дозы); 3) формирование урожая (качество урожая) (10% дозы). Способы внесения жидких удобрений: 1) многоструйные распылители опрыскивателей AMAZONE (Милюткин, 2018) использовались только на допосевном внесении, а также по вегетации только яровой твердой пшенице; 2) удлинительные шланги для прикорневого внесения использовались для работы по вегетации сои, кукурузы и подсолнечника.

Таблица 2. Нормы внесения азотных удобрений (кг/га физической массы)

Сроки внесения	Аммиачная селитра N 34	КАС 32 N 32,3	КАССА N 24	РПС N 8
Яровая пшеница твердая, общая доза азота 102 кг/га д в				
До посева	180	190	255	265
Кущение	90	95	128	183
Флаговый лист	30	32	43	128
Соя, общая доза азота 143 кг/га д в				
До посева	252	265	358	473
3 настоящих листа	126	133	179	236
Бутонизация – формирование бобов	42	44	60	178
Кукуруза, общая доза азота 149 кг/га д в				
До посева	263	277	373	418
Фаза 3 листьев	131	138	186	259
Фаза 8-10 листьев	44	46	62	86
Подсолнечник, общая доза азота 132 кг/га д в				
До посева	233	245	330	490
Фаза 2-3 листьев	116	123	165	295
Фаза «звездочки»	39	41	55	65

Эффективность жидких азотных и азото-серосодержащих минеральных удобрений на базе КАС-32 по сравнению с твердыми – аммиачная селитра – с использованием в различные фазы развития растений как через корни, так и через листья на всех исследуемых культурах (яровая пшеница, соя, кукуруза, подсолнечник) в течение двух засушливых лет 2018–2019 гг. выражается в стабильных существенных прибавках урожайности (рис. 1–4) и достоверном экономическом эффекте (Милюткин, 2019–2020).

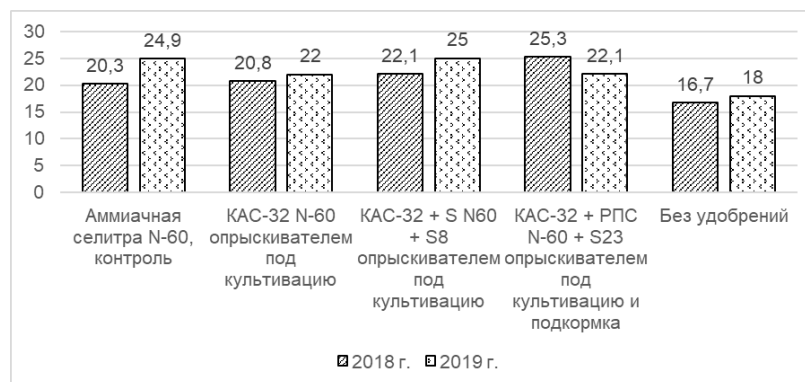


Рис. 1. Сравнительная урожайность яровой твердой пшеницы – сорт «Марина» по вариантам опытов (ц/га) (2018–2019 гг.)

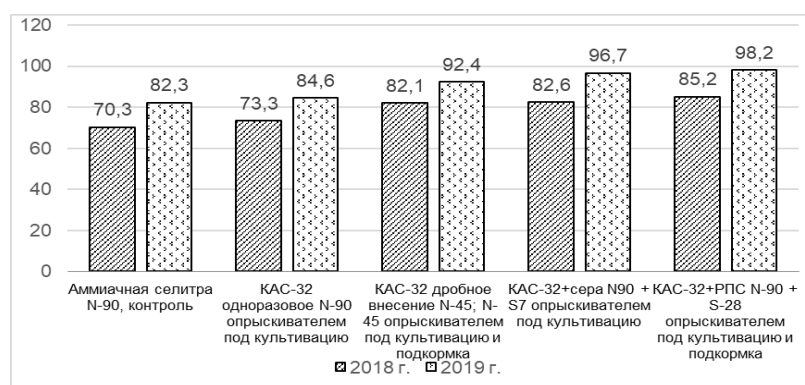


Рис. 2. Урожайность кукурузы (ц/га): гибриды – «Пионер 7709» (2018 г.); НК «Фалькони» (2019 г.)



Рис. 3. Сравнительная урожайность подсолнечника на опытных делянках, ц/га (2018–2019 гг.)

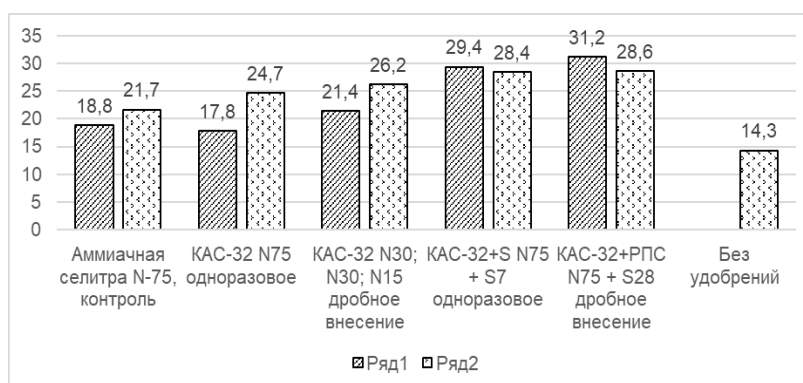


Рис. 4. Сравнительная урожайность сои – ц/га (2018-2019гг.)

Общие выводы

Таким образом, применение в годы с недостаточным увлажнением, жидких азотных и азотосеросодержащих удобрений, показывают достаточно высокую их эффективность на различных полевых культурах с внесением в различные сроки по фазам развития растений.

Список литературы

1. Милюткин В.А., Буксман В.Э., Канаев М.А. Высокоэффективная техника для энерго-, влаго-, ресурсосберегающих мировых технологий Mini-Till, No-Till в системе точного земледелия России. Монография. Кинель: РИО Самарской ГСХА, 2018. 182 с.
2. Милюткин В.А. Эффективная политика аграрных машиностроительных фирм в развитии интеллектуальных технологий в земледелии (на примере совместной деятельности компании «Amazonen – Werke» (Германия) в России – АО «Евротехника» (Самара)). Агрофорсайт. № 2. 2017. С. 1–5.
3. Милюткин В.А., Цирулев А.П. Возможности повышения продуктивности сельхозугодий влагосберегающими технологиями высокоэффективной техникой «AMAZONEN-Werke». Материалы международной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства РФ; Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т. С. Мальцева. 2016. С. 220–224.
4. Милюткин В.А., Долгоруков Н.В. Почвозащитные сельскохозяйственные технологии и техника для возделывания сельскохозяйственных культур // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. №3. С. 37–44.
5. Милюткин В.А., Канаев М.А., Буксман В.Э. и др. Формирование рационального состава наиболее эффективных разбрасывателей минеральных удобрений для агропредприятий // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 6. С. 111–114.
6. Милюткин В.А., Буксман В.Э. Повышение эффективности опрыскивателей для внесения жидких минеральных удобрений // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 1(69). С. 119–122.
7. Милюткин В.А., Толпекин С.А., Буксман В.Э. Приоритетные конструктивные и технологические особенности опрыскивателей для защиты растений при техперевооружении агропредприятий АПК. Нива Поволжья. 1018. С. 97–102.
8. Милюткин В.А. Оптимизация машинно-тракторного парка агропредприятия при выборе сельхозмашин (сеялок) по основным технико-технологическим показателям. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2017. № 4(66). С. 122–124.

9. Милюткин В.А., Буксманн В.Э. Внутрипочвенное внесение удобрений агрегатами XTENDER с культиватором CENIUS TX при высокоэффективном влагонакоплении. В книге «Аграрная наука – сельскому хозяйству», сборник статей: в 3-х книгах, Алтайский государственный аграрный университет, 2017. С. 41–46.

10. Милюткин В.А., Цирулев А.П., Толпекин С.А., Длужевский Н.Г. Исследования новых видов азото-серосодержащих жидких удобрений и способов внесения при возделывании подсолнечника. В сборнике: Актуальные проблемы рационального использования земельных ресурсов. Сборник статей по материалам III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Под общей редакцией Сухановой С.Ф. 2019. С. 116–122.

11. Милюткин В.А., Сысоев Н.В., Макушин А.Н., Васильев А.С. Стабильная эффективность сельхозкультур от повышения плодородия почв жидкими минеральными удобрениями /В сб.: Приоритетные направления регионального развития // Материалы Всеросс. (национальной) научно-практической конференции с международным участием. 2020. С. 553–558.

ВЫЯВЛЕНИЕ В ПОЧВЕ ПРОДУЦЕНТОВ МИКОТОКСИНОВ ПО ГЕНАМ, УЧАСТВУЮЩИМ В СИНТЕЗЕ МИКОТОКСИНОВ

И. В. Митина, В. А. Митин, Л. Г. Туманова

Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений, Кишинев, Молдова

Микотоксины являются продуктами вторичного метаболизма плесневых грибов. Одним из возможных источников заражения растений плесневыми грибами-продуцентами микотоксинов является почва. В данной работе мы провели молекулярный анализ различных почв, с целью выявления влияния выращиваемой культуры на зараженность почв грибами – потенциальными продуцентами микотоксинов.

DETECTION OF MYCOTOXIN PRODUCERS IN SOIL BY THE GENES INVOLVED IN MYCOTOXIN SYNTHESIS

I. V. Mitina, V. A. Mitin, L. G. Tumanova

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau, Moldova

Mycotoxins are secondary metabolites of filamentous fungi. These naturally occurring compounds can be present in food and cause various diseases in humans and animals. The content of a number of mycotoxins in food is regulated by legislation of most countries. One of the possible sources of mycotoxigenic fungi in food is the soil used for growing agricultural crops. In this work, we analyzed the soil sampled from the fields where different cultures (soybeans, maize, winter wheat) were cultivated and harvested for the presence of potential mycotoxin-producing fungi. For detection of mycotoxigenic fungi, we used real-time PCR and conventional PCR with primers specific to the regions of genes, involved in mycotoxin biosynthesis. Generally, the genes which mRNA level was shown to correlate with the level of the corresponding mycotoxin in the literature were used for primer design. Using these primers, we could detect a DNA fragment of FUM1 gene of some *Fusarium* pathogens (*Fusarium proliferatum*, *verticillioides*, *fujikuroi*, *oxysporum*), a DNA fragment of aflR gene of some *Aspergillus* pathogens (*Aspergillus parasiticus*, *flavus*, *oryzae*, *minisclerotigenes*, *sojae*), DNA fragment of TRI8 gene of *Fusarium graminearum*, a DNA fragment of fum6 gene of *Fusarium verticillioides*, and an aflP gene fragment of *Aspergillus flavus* in the soil sampled from soybean field. In the soil sample from winter wheat field all the above fragments as well as aflP gene fragment of *Aspergillus parasiticus* were detected. In the soil sampled from the field after maize cultivation, FUM1 gene fragments (*Fusarium proliferatum*, *verticillioides*, *fujikuroi*, *oxysporum*), aflR gene fragments (*Aspergillus parasiticus*, *flavus*, *oryzae*, *minisclerotigenes*, *sojae*) and aflP gene fragments (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*), but neither TRI8 nor FUM6 gene fragments were detected. Thus, the pattern of mycotoxigenic fungi detected is different for each soil. This may indicate that the cultivated crops influence the distribution of phytopathogens in soil. Real-time PCR results show the prevalence of *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* and *Fusarium graminearum* in the analyzed soils. Real-time PCR results also show the differences in the pattern of the detected pathogens. So, the strategy of detection of mycotoxin producers using primers based on the genes involved in mycotoxin biosynthesis appears to be promising. It can increase the specificity of detection of potential mycotoxin producers. Such approach allows for detection of a group of pathogens capable of producing a specific mycotoxin without identification of a specific pathogen.

Микотоксины являются продуктами вторичного метаболизма плесневых грибов, относящихся, в основном, к родам *Aspergillus*, *Penicillium* and *Fusarium*. Это вещества естественного происхождения, которые могут присутствовать в продуктах питания и вызывать различные заболевания человека и животных, от заболеваний желудочно-кишечного тракта и почек до иммунодефицита и онкологических заболеваний и т. д. (URL:fao.org/food/). Микотоксины попадают в пищевую цепочку в результате заражения сельскохозяйственных культур до или после урожая, и часто встречаются в таких продуктах, как зерновые, сухофрукты, орехи и специи. Содержание ряда из них в продуктах питания, в частности, aflatoxins (B1, B2, G1 and G2), aflatoxin M1, trichothecenes (deoxynivalenol, diacetoxyscirpenol, T-2 toxin and HT-2 toxin), fumonisins (B1, B2, and B3), ochratoxin A, patulin and zearalenone, регламентируется законодательством большинства стран (URL.fao.org/docrep/). Существующие в настоящее время методы определения содержания микотоксинов в продуктах питания включают методы аналитической химии и методы на основе иммуноферментного анализа (ELISA). Методы аналитической химии позволяют точно определить микотоксин и его количество, однако требуют трудоемкой подготовки образца. Методы иммуноферментного анализа ограничены наличием и доступностью антител (Krska et al., 2008; Rahmani et al., 2009). В последнее время, прилагаются значительные усилия по разработке альтернативных методов на основе молекулярной диагностики, нацеленных на определение организма-производителя микотоксинов, а не собственно микотоксинов (Niessen, 2007; Burlakoti et al., 2007; Sadhasivam et al., 2017). Для этого было бы важно показать взаимосвязь между присутствием в продукте организма-производителя микотоксина и самого микотоксина.

Одним из возможных источников заражения растений плесневыми грибами-производителями микотоксинов является почва. В данной работе мы провели молекулярный анализ почв, использованных для выращивания различных культур, после сбора урожая, с целью выявления зараженности почв грибами- потенциальными производителями микотоксинов. В данной работе мы

использовали праймеры, специфичные генам, участвующим в синтезе микотоксинов. Как правило, для дизайна праймеров использовались гены, для которых в литературе была показана, корреляция между количеством мРНК этих генов и количеством микотоксинов. В таблице 1 представлены названия праймеров, которые дали положительный сигнал в результате ПЦР-реакции, а также гены, к которым были разработаны праймеры, микотоксины, в биосинтезе которых участвуют эти гены, и микроорганизмы – носители этих генов. Также указаны длины синтезированных фрагментов в парах оснований (п.о.).

Таблица 1. Гены, использованные для дизайна праймеров

N	праймеры	п.о.	микроорганизм	микотоксин	ген
6	mqlfmc2-3	186	<i>Fusarium proliferatum</i> , <i>verticillioides</i> , <i>fujikuroi</i> , <i>oxysporum</i>	Fumonisin	fumonisin biosynthetic polyketide synthase (FUM1) gene
7	mafl2-3	291	<i>Aspergillus parasiticus</i> , <i>flavus</i> , <i>oryzae</i> , <i>minisclerotigenes</i> , <i>sojae</i>	Aflatoxin	AFLR (afIR) gene
8	mqafl1-2	198	<i>Aspergillus parasiticus</i> , <i>flavus</i> , <i>oryzae</i> , <i>minisclerotigenes</i> , <i>sojae</i>	Aflatoxin	AFLR (afIR) gene
11	fqtri8gr2-3	123	<i>Fusarium graminearum</i>	DON, T2	trichothecene C-3 esterase (TRI8) gene
12	fqfum6ve2-3	147	<i>Fusarium verticillioides</i>	Fumonisin	oxygenase (fum6) gene
13	fqprfum62-3	179	<i>Fusarium proliferatum</i>	Fumonisin	oxygenase (fum6) gene
14	aqrap2-3	120	<i>Aspergillus parasiticus</i>	Aflatoxin	O-methyltransferase A (afIP) gene
15	aqfap2-3	152	<i>Aspergillus flavus</i>	Aflatoxin	O-methyltransferase A (afIP) gene

Проба почвы для выделения ДНК отбиралась из поверхностного слоя методом зигзага. Необходимо отметить, что выделение ДНК из почвы имеет свою специфику. Дело в том, что в почве относительно небольшое количество ДНК, зато присутствует большое количество гуминовых кислот, которые связываются с ДНК, загрязняют препарат ДНК и ингибируют ПЦР. Поэтому задачей является получить достаточное количество ДНК удовлетворительного для проведения ПЦР качества. В данной работе для выделения ДНК за основу были взяты методы ISO 21571 (ISO 21571, 2005). Использовалась комбинация этих методов со следующим дополнением. Осадок, полученный в результате первого этапа выделения, растворяли в NaCl концентрацией 1.4М, обрабатывали

хлороформом и осаждали этанолом. Такой метод позволяет добиться очистки ДНК от гуминовых кислот, поскольку при высокой концентрации соли гуминовые кислоты отсоединяются от комплекса с ДНК, и это позволяет осадить ДНК, в то время, как гуминовые кислоты остаются в растворе. Дальнейшая очистка предусматривала использование СТАБ этапа очистки ДНК.

В данной работе использовались два метода на основе ПЦР: традиционный ПЦР в один раунд с последующим определением амплифицированного фрагмента с помощью электрофореза в агарозном геле и окрашивании ДНК бромистым этидием, и ПЦР в реальном времени с использованием *CybrGreen*.

На рисунке 1 представлены результаты анализа образцов почвы, взятых с полей после сбора сои, озимой пшеницы и кукурузы. Цифры, указывающие номер дорожки, одинаковы для каждого образца почвы. Номера в таблице 1 соответствуют номерам дорожек на рис. 1. Видно, что праймеры на основе генов, участвующих в синтезе микотоксинов, способны выявлять патогены в почве по вышеописанной методике. Например, в почве после уборки сои был обнаружен фрагмент ДНК гена *FUM1*, который присутствует у ряда патогенов рода *Fusarium* (*Fusarium proliferatum*, *verticillioides*, *fujikuroi*, *oxysporum*), фрагмент ДНК гена *aflR*, который присутствует у ряда патогенов рода *Aspergillus* (*Aspergillus parasiticus*, *flavus*, *oryzae*, *minisclerotigenes*, *sojae*), фрагмент ДНК гена *TRI8*, который присутствует у *Fusarium graminearum*, фрагмент ДНК гена *fum6*, присутствующий у *Fusarium verticillioides*, а также фрагмент ДНК гена *aflP*, который присутствует у *Aspergillus flavus*. В почве после уборки озимой пшеницы были обнаружены все вышеперечисленные фрагменты, а также фрагмент ДНК гена *aflP* *Aspergillus parasiticus*. В почве после уборки кукурузы обнаружили фрагменты ДНК гена *FUM1* (*Fusarium proliferatum*, *verticillioides*, *fujikuroi*, *oxysporum*), *aflR* (*Aspergillus parasiticus*, *flavus*, *oryzae*, *minisclerotigenes*, *sojae*) и *aflP* (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*), но не обнаружили фрагментов ДНК генов *TRI8* и *FUM6*. Таким образом, видно, что рисунки электрофореграмм различаются для различных почв. Это может означать, что выращиваемая культура вносит свой вклад в распределение фитопатогенов в почве.

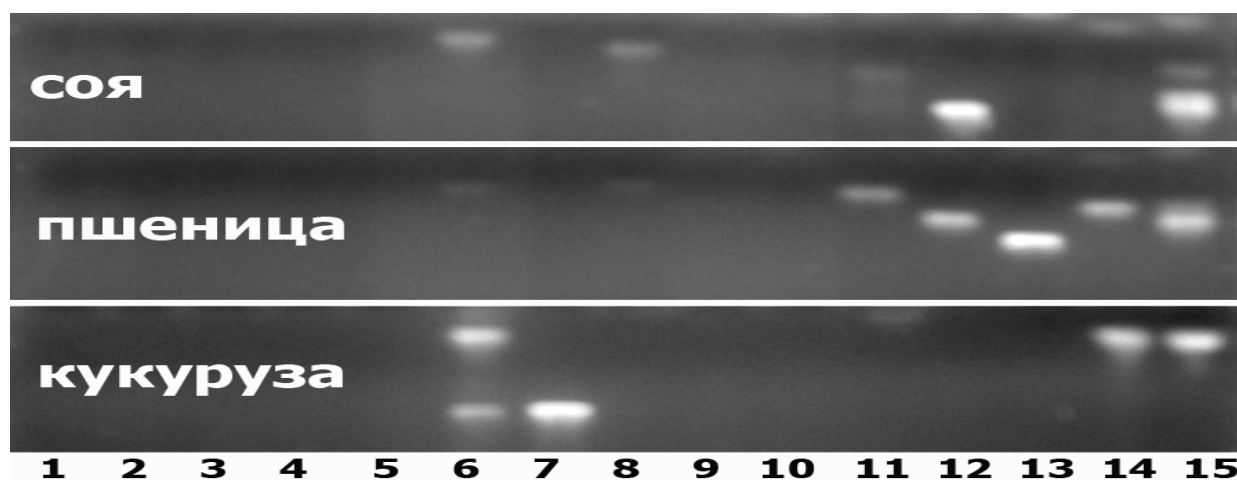


Рис. 1. Электрофореграмма фрагментов, амплифицированных с использованием праймеров, специфичных генам, участвующим в синтезе микотоксинов. Образец – ДНК, выделенная из почвы после уборки сои, пшеницы и кукурузы

Эти же образцы ДНК были проанализированы методом ПЦР в реальном времени.

На рисунке 2 представлены результаты анализа образца ДНК, выделенной из почвы после уборки пшеницы, методом ПЦР в реальном времени, с использованием тех же пар праймеров.

Из всех проанализированных микроорганизмов, в почве этого участка были обнаружены: *Fusarium graminearum*, *equiseti*, (праймеры специфичные гену PKS13, участвующему в биосинтезе зеараленона), *Aspergillus parasiticus* (праймеры специфичные гену aflP, участвующему в биосинтезе афлатоксина) и *Aspergillus flavus* (праймеры специфичные гену aflP, участвующему в биосинтезе афлатоксина). На рисунке 2 представлены кривые амплификации и диссоциации.

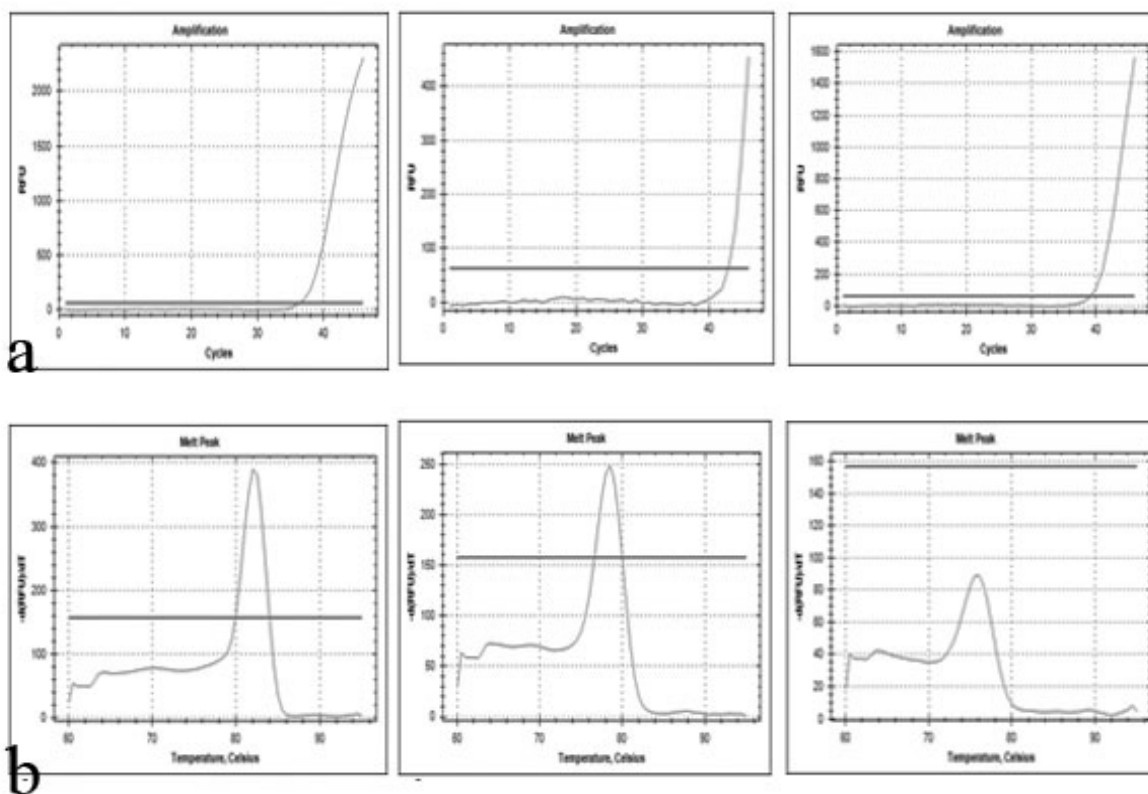


Рис 2. Графики амплификации (а) и диссоциации (b) фрагментов, амплифицированных с использованием праймеров к гену PKS13 *Fusarium graminearum*, *equiseti*, участвующему в синтезе зеараленона; гену aflP *Aspergillus parasiticus*, участвующему в синтезе афлатоксина, aflP *Aspergillus flavus* участвующему в синтезе афлатоксина. Образец – ДНК, выделенная из почвы после уборки пшеницы.

Также были проанализированы образцы ДНК, выделенной из почвы после уборки сои и кукурузы. В результате анализа образца почвы после уборки сои, положительный сигнал был получен с использованием пары праймеров к гену aflP, участвующему в синтезе афлатоксинов (*Aspergillus flavus*) и праймеров к гену Tri8, участвующему в синтезе DON, T2 токсинов (*Fusarium graminearum*). В результате анализа образца почвы, взятого после уборки кукурузы, положительный сигнал был получен с использованием пары праймеров к гену aflP, участвующему в синтезе афлатоксинов (*Aspergillus parasiticus*).

Ряд патогенов, обнаруженных методом традиционной ПЦР и ПЦР в реальном времени, совпадают. В результатах ПЦР в реальном времени на ДНК различных почв, также наблюдаются различия в спектре обнаруживаемых патогенов.

Таким образом, полученные результаты указывают на то, что используемый вариант выделения ДНК из почвы позволяет выявлять патогены почвы, как методом обычного ПЦР, так и методом ПЦР в реальном времени. Кроме того, показана перспективность выявления продуцентов микотоксинов с применением праймеров, дизайн которых основан на нуклеотидных последовательностях генов, участвующих в синтезе соответствующих микотоксинов. Это может повысить специфичность выявления патогенов, способных синтезировать микотоксины. Такой подход может позволить выявлять группу патогенов, способную синтезировать конкретный микотоксин, без идентификации конкретного патогена.

Список литературы

1. URL: <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/a-z-index/mycotoxins/ru/>
Food and Agriculture Organization (2004) Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. FAO Food and Nutrition Paper 81. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, <http://www.fao.org/docrep/007/y5499e/y5499e00.htm>.
Krska R., Schubert-Ullrich P., Molinelli A., Sulyok M., MacDonald S., Crews C. Mycotoxin analysis: An update // Food Additives and Contaminants. 2008. V. 25(2). P. 152–163
Rahmani A., Jinap S., Soleimany F. Qualitative and Quantitative Analysis of Mycotoxins // Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety. 2009. Vol. 8(3). P. 202–251
Niessen L. PCR-based diagnosis and quantification of mycotoxin producing fungi // Int J Food Microbiol. 2007. Vol. 119(1-2). P. 38–46.
Burlakoti, R. R., Estrada, R., Jr., Rivera, V. V., Boddada, A., Secor, G. A., and Adhikari, T. B. Real-time PCR quantification and mycotoxin production of *Fusarium graminearum* in wheat inoculated with isolates collected from potato, sugar beet, and wheat // Phytopathology. 2007. Vol. 97. P. 835–841.
Sadhasivam, S., Britzi, M., Zakin, V., Kostyukovsky, M., Trostanetsky, A., Quinn, E., Sionov, E. Rapid Detection and Identification of Mycotoxigenic Fungi and Mycotoxins in Stored Wheat Grain. // *Toxins*-2017. Vol. 9(10). P. 302
ISO 21571, Foodstuffs – Methods of analysis for the detection of genetically modified organisms and derived products – Nucleic acid extraction, 2005.

ГРУППИРОВКА ПОЧВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ МЕНЬКОВО ПО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМУ СОСТАВУ

К. Г. Моисеев, Е. Г. Зинчук

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

В работе представлены результаты исследования текстуры почв землепользования Меньково. Текстура почв исследована методами ГОСТ 12536-2014 в классе размеров частиц: фракция песка 1–0,05 мм; крупнопылевая фракция 0,05–0,01 мм и фракция ила менее 0,001 мм. По результатам исследования почвы сгруппированы по грансоставу, составлены карты текстуры почв, почвообразующих и подстилающих пород.

THE GROUPING SOILS OF LAND USE MENKOVO BY PARTICLE SIZE DISTRIBUTION.

K. G. Moiseev, E. G. Zinchuk

Agrophysical Research Institute

The article presents the results of a study of texture of soils land use Menkovo.. Soil texture was studied by methods GOST 12536-2014 in the class of sizes (diameters) of the particles: sand fraction 1–0,05 mm; coarse silt fraction 0.05–0.01 mm; and clay fraction less than 0.001mm. According to the results of the study, the soils are grouped by particle size distribution. The maps of the soil cover have been compiled.

В работе представлена группировка почв, почвообразующих и подстилающих пород землепользования Меньково по гранулометрическому составу. Составлены карты текстур почв, и четвертичных отложений (Дубровина, 2010) землепользования расположенного в Юго-Восточной части Гатчинского района Ленинградской области. Местность имеет слаборассеченный рельеф, уклоны крайне редко превышают 5°, а большинство склонов до 3° высота над уровнем моря 112 м; максимальная абсолютная отметка над уровнем моря 114м.

Землепользование располагается в 5 км к Северо-востоку от истока р. Суйды в зоне «южной тайги». По геологическому строению это зона смены карбонатных пород и морен Ордовикского плато девонскими красноцветными песками. Пески и морены частично перекрыты более поздними четвертичными супесчаными озерно-ледниковыми отложениями Валдайского оледенения Лужской стадии. Для местности характерна пестрота почвообразующих пород и двучленное а, часто, трехчленное строение почвенного профиля. Текстурно все

породы не тяжелее супесчаного и суглинистого гранулометрического состава. Почвообразующие и подстилающие породы землепользования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Почвообразующие породы землепользования **Меньково**

Название породы	Площадь (га.)	%
Аллювиальный песок	4	0,9
Девонский песок	14	3,0
Морена	95,3	20,6
Морена на девонском песке	11,6	2,5
Морена карбонатная	46,3	10,0
Морена карбонатная на девонском песке	11,3	2,4
Мореный суглинок на озерно-ледниковых отложениях	1,3	0,3
Озерно-ледниковые отложения	96	20,7
Озерно-ледниковые отложения / морена / девонский песок	1	0,2
Озерно-ледниковые отложения на девонском песке	41,6	9,0
Озерно-ледниковые отложения на морене	100,5	21,7
Озерно-ледниковые отложения на морене карбонатной	20,6	4,4
Торф	20	4,3

Землепользование Меньково составляет 665га, из них 205га представляют земли, по той или иной причине, выведенные или не пригодные к с/х использованию. Итого имеем $460 \pm 3,5$ га с/х используемых и залежных земель. По официальным данным пахотные земли Меньково составляют 350га, поэтому залежные земли 110 га.

На рис. 1 представлено пространственное расположение почвообразующих пород Меньково

Почвы формируются на легких по гранулометрическому составу двучленных наносах девонского и четвертичного периода. Иногда почвы формируются на трехчленных наносах, включающих среднесуглинистые морены образованные и карбонатными породами ордовикского периода. Морены и остаточно-карбонатные морены, расположены выше девонских песков и сверху перекрыты озерно-ледниковыми супесями и песками или абрадированными моренами.

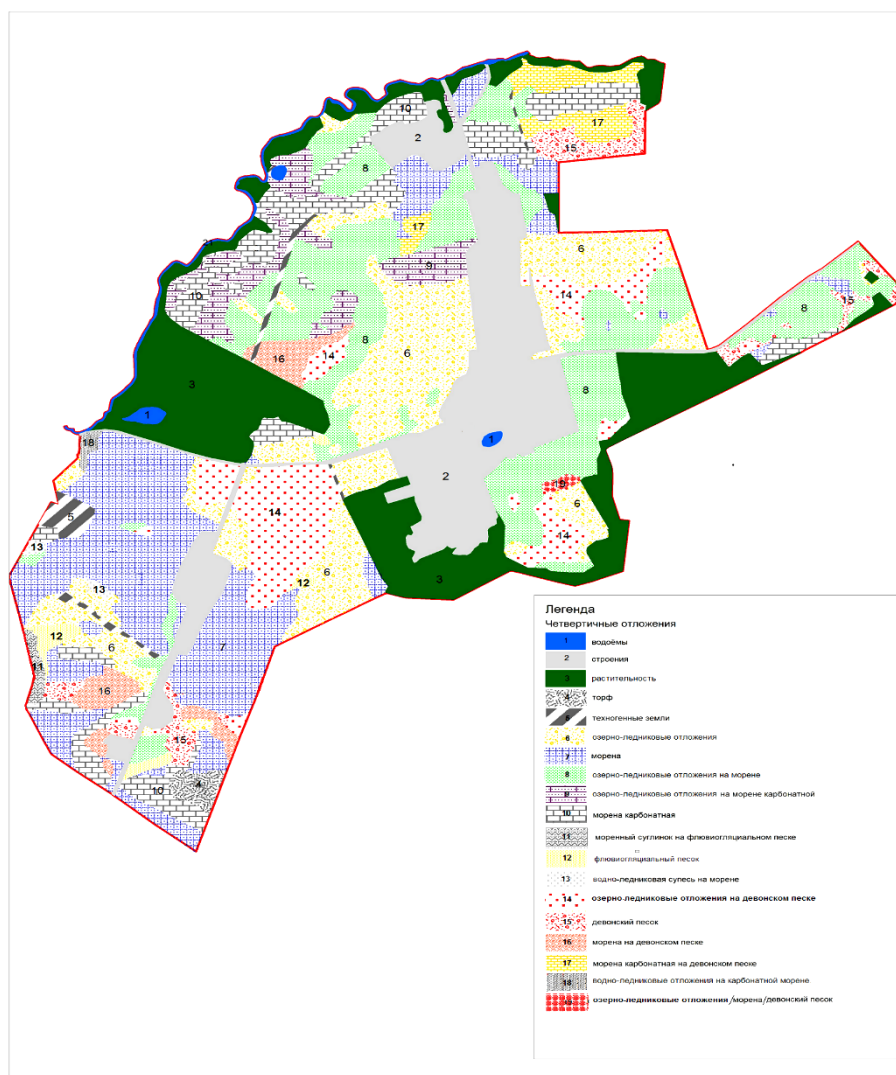


Рис. 1. Пространственное расположение почвообразующих пород землепользования Меньково

Гранулометрический состав почв изучался на наиболее распространенных почвах в почвенном покрове землепользования: Агроземах, агродерново-подзолистых типичных, агродерново-подзолистых глееватых, агродерново-подзолах иллювиально-железистых, агротемногумусовых глеевых почв (Шишов и др., 2004; Моисеев и др., 2013; Зинчук и др., 2013;). По гранулометрическому составу почвы представляют собой супесчаные разности (Моисеев, Зинчук, 2014). Дневная поверхность почв, почвенного покрова землепользования имеет следующий гранулометрический состав (представлен в табл. 2).

Таблица 2. Гранулометрический состав гумусовых горизонтов почв почвенного покрова землепользования Меньково по классификации Почвенного института им. В. В. Докучаева

Занимаемая площадь	(га.)	%
Песок рыхлый	2,5	0,5
Песок связный	39,1	8,5
Супесь	279,1	60,7
Легкий суглинок	92,5	20,1
Средний суглинок	17,0	3,7
Тяжелый суглинок	2,0	0,4
Торф	28,0	6,1
Всего	460,1	100

Образцы почв исследованы по размеру частиц в классе: песок 1–0,05 мм; пыль 0,005–0,01 мм, тонкая пыль 0,001–0,005 мм и ил менее 0,001 мм. По результатам исследования гранулометрического состава, почвы объединены по группам. Корреляция и достоверность различий распределения частиц по размерам оценивалась с использованием коэффициента корреляции Пирсона ($p \leq 0,05$). При отсутствии или слабой корреляционной связи почвы не попадали в одну группу.

I. – Группа почв с суглинистым, насыпным, пахотным горизонтом (турбированные или стратифицированные в результате мелиорации почвы), привозной мелиорант – суглинок. Поля с южной стороны фермы на севере землепользования, прилегающие к д. Меньково.

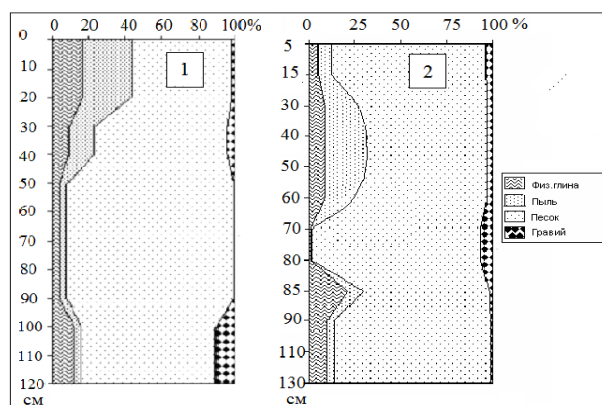


Рис. 2. Профиля стратифицированных и турбированных почв по гранулометрическому составу. 1) подгруппа I.1, стратифицированных почв 2) подгруппа турбированных почв I.2.

1) Дневные горизонты почв суглинистые, нижняя часть профиля супесчаная; граница смены пород находится в 0,5 метре (поля, прилегающие к д. Кривое колено с запада).

2) Слоистые почвы суглинисто - супесчаного состава, гумусовый горизонт легкосуглинистый, ниже по профилю чередование слоев – как результат мелиорации (поля, прилегающие к д. Старое колено с юга).

II – группа наиболее распространенных почв землепользования; супесчаные и легкосуглинистые почвы. Типы почв: агроземы, агродерново-подзолистые и агродерново-подзолы. Занимают центральную часть землепользования Меньково.

1) Дневные горизонты почв (обычно P, EL иногда и B горизонты почв) супесчано-песчаного, редко легкосуглинистого грансостава, подстиление (от 0,5 м) легким – редко средним суглинком (горизонты BC, C).

2) Весь профиль почвы супесчаного грансостава. Поля западнее д. Кривое колено на границе землепользования и на юго-запад от фермы.

3) Дневные горизонты почв супесчаные, нижняя часть профиля песчаная. Расположены на севере землепользования, поле, рядом с песчаным карьером на юго-запад от карьера.

4) Почвы с чередованием слоёв (трехчлены) супесь – легкий суглинок, песок. Породы: озерно-ледниковые отложения / морена / девонский песок (семипольный севооборот и прилегающие с востока поля, (номер на карте 19 смотри рис. 1)).

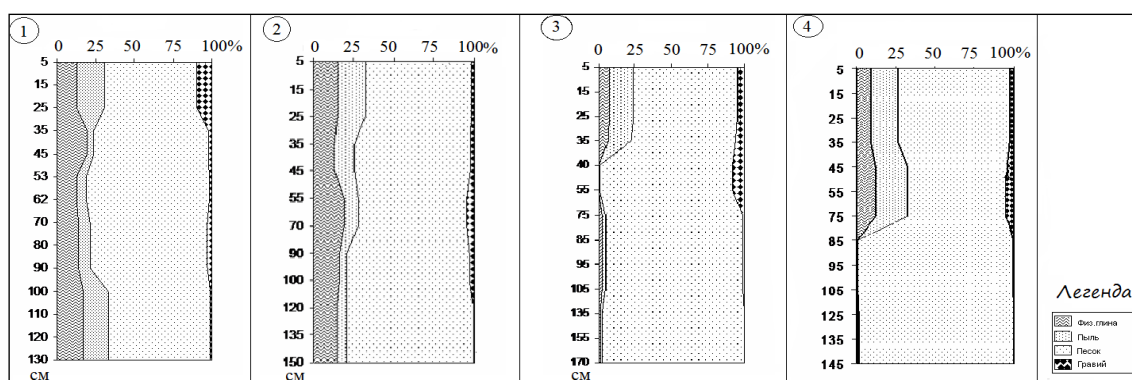


Рис. 3. Профили наиболее распространенных по гранулометрическому составу и строению почв землепользования Меньково. 1) подгруппа почв II.1. 2) подгруппа почв II.2. 3) подгруппа почв II.3. 4) подгруппа почв II.4.

III. Песчаные почвы (не крупные ареалы почв, встречаются повсеместно в почвенном покрове землепользования).

- 1) Весь профиль почв имеет песчаный гранулометрический состав
- 2) Дневные горизонты почв - имеют песчаный гранулометрический состав

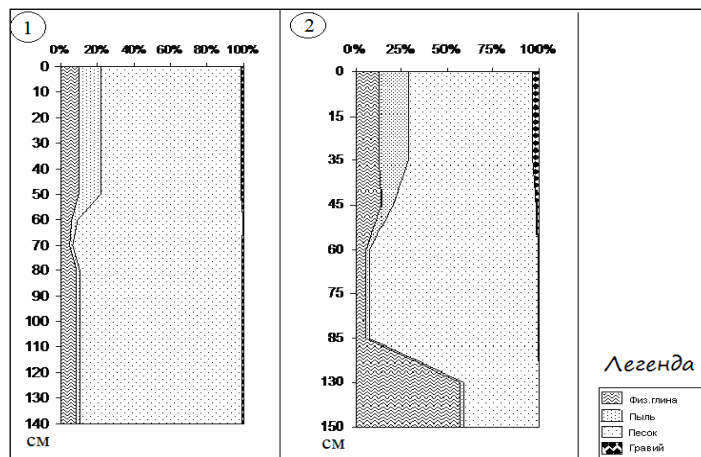


Рис. 4. Профили наиболее распространенных по гранулометрическому составу и строению почв землепользования Меньково. 1) подгруппа почв III.1, песчаные почвы 2) подгруппа почв III.2.

Среднее содержание фракций грансостава агродерново-подзолистых типичных супесчаных почв показано в таблице 3 (Моисеев, Терлеев 2019).

Таблица 3. Среднее содержание фракций грансостава агродерново-подзолистых почв, доверительный интервал

Почвенный горизонт		Р (0–30 см)	Е (30–40см)	ВЕL(g) (40–55 см)	ВТ (60–90 см)	С (>110 см)
Содержание фракции грансостава почв	песок %	66,5±3,6	81,5±4,4	86,1±3,1	86,2±7,0	83,4±2,2
	пыль%	17,4±2,0	5,6±1,3	4,3±1,4	3,2±0,8	3,6±0,6
	ил %	1,1±0,1	1,5±0,21	2,9±0,8	5,8±1,8	3,4±1,9

Наибольшее варьирование содержания фракций грансостава внутри группы почв единого генетического типа наблюдается в горизонтах ВТ агродерново-подзолистых почв и в горизонтах Е(g) агродерново-подзолов. Содержание ила, в пахотных горизонтах всех типов почв, значительно варьирует, исключая группу агродерново-подзолистых типичных почв. Значительно варьирует и содержание частиц пылеватой фракции в профилях агродерново-подзолов.

Список литературы

Дубровина И. А. 2010. Использование профильно-генетической классификации почв России при крупномасштабном картографировании (на примере почв хозяйства «Эссойла» республики Карелия). Автореферат диссертации на соискание степени кандидата сельскохозяйственных наук. Петрозаводск. 13 с.

Зинчук Е. Г., Моисеев К. Г., Бойцова Л. В. 2013. Электронные базы данных: хранение и анализ агрофизической информации // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия. Научно-практическая конференция Курского отделения МОО. Курск, 21–25 декабря 2013. С. 70–72.

Моисеев К. Г., Зинчук Е. Г. 2014. Крупномасштабная почвенная карта Меньковского филиала агрофизического института Россельхозакадемии // Агрофизика. № 3. С. 8–17.

Моисеев К. Г., Гончаров В. Д., Зинчук Е. Г., Рижия Е. Я., Бойцова Л. В., Гурин П. Д., Старцев А. С., Пищик В.Н. База данных почвенного покрова Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии (структура почвенного покрова, геоморфологическое строение, физические и геохимические свойства почв). свидетельство о регистрации базы данных RUS 2013620682 22.03.2013.

Моисеев К. Г., Терлеев В. В. 2019. Влияние увеличения количества осадков на структуру почвенного покрова и текстурные свойства почв Агрофизика. № 4. С. 22–30.

Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. 2004. Классификация почв России. Смоленск. 342 с.

ПРОБЛЕМЫ КОНСОЛИДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Т. Н. Низамзаде

Бакинский государственный университет (БГУ)

Основываясь на проведенных исследованиях и анализе опыта Европейских стран по внедрению на практике консолидации земель сельскохозяйственного назначения, а также на результатах использования различных методических подходов по ее проведению, автор статьи с целью предотвращения дальнейшего уменьшения земель по площадям в Азербайджане предлагает принять законодательные акты по консолидации земель и параллельно с принятием такого закона ввести жесткий контроль над куплей-продажей и арендой земель сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: землеустройство, земельный пай, земельная доля, земельный участок, консолидация земель, фермерское хозяйство, межхозяйственное землеустройство.

PROBLEMS OF LAND CONSOLIDATION IN AZERBAIJAN

Nizamzade Teimur

Baku state University, faculty of Ecology and soil science, Azerbaijan

Based on the research and analysis of the experience of European countries in implementing agricultural land consolidation in practice, as well as on the results of using various methodological approaches to its implementation, the author of the article, in order to prevent further reduction of land area in the country, proposes to adopt legislative acts on land consolidation, and in parallel with the adoption of such a law to introduce strict control over the purchase, sale and lease of agricultural land.

Key words: land management, land share, land share, land plot, land consolidation, farming, inter-farm land management.

Введение. В Азербайджане к земле всегда было бережное отношение.

Люди всегда понимали, что земля – это кормилец, и от ее рационального использования зависит их благополучие. С развалом Советского Союза аграрный сектор, включая всю экономику Азербайджана, пришли в упадок. Стало понятно, что плановая экономика как таковая навсегда ушла в небытие, и реформирование земельных отношений Азербайджана на принципах демократии и правового государства требовало теоретического осмысления и учета закономерностей зарубежного опыта проведения таких реформ, прежде всего в государствах, которые в течение последних десятилетий решали похожие земельные вопросы. К числу таких стран можно отнести страны Европейского союза, где вопросы реформирования земельных отношений и консолидации земель имеют давние традиции. В этих странах комплексным исследованием результатов земельных реформ и применением различных подходов к

проведению консолидации земель занимались такие специалисты как Т. ван Дойк (T. van Dijk) [1], И. Томас (J. Thomas) [2], М. Хартвигсен (M. Hartvigsen) [3].

Правительство нашей страны решило пойти радикально-экономическими путем на основе принятия закона «О земельной реформе». Согласно этому закону, главная задача – реформирование земельных отношений – базировалась на уравнительном распределении земель в сельском хозяйстве республики, где основным инструментом стали земельные доли. К сожалению, реорганизация территорий сельскохозяйственных предприятий на основе вынесения в натуру труженикам села земельных паёв не получила необходимую методическую основу, а проводилась спонтанно, без землеустроительных проектных работ. В частности, не получили развитие проекты землеустройства, в которых было возможным решение вопросов организации территории, формирования земельных массивов, их устройства.

Цель статьи. Цель нашего исследования заключается в поиске путей консолидации земель Азербайджана для нахождения оптимальных размеров землепользований адекватных производственному потенциалу сельского товаропроизводителя.

Результаты и обсуждения. С образованием Азербайджана как независимого государства, начались разработки и претворение в жизнь радикальных экономических реформ. В основу обеспечения продовольственной безопасности страны легла идея ликвидации государственной монополии путем создания новых форм собственности (муниципальная, частная), не только в аграрном секторе, но и в легкой и тяжелой промышленности. Такая ускоренная реформа в создании многочисленного количества земельных собственников была похожа на желание к скорейшему избавлению от советского прошлого, нежели на решение экономических проблем, накопившихся в аграрной отрасли страны.

Согласно закону, право на получение бесплатного земельного пая было у всех жителей независимо от их возраста и сферы деятельности, которые в

момент принятия закона на постоянной основе проживали в сельской местности [4]. Вследствие принятия этого закона появилась возможность разгосударствления права собственности над землей, и наравне с государственной собственностью в стране появились также частная и муниципальная формы собственности. Главная задача антимонопольного управления землей заключалась в повышении эффективности использования земельных ресурсов и улучшение социально-экономического положения сельских тружеников. Принимая такие решения, в правительстве страны думали, что путем создания различных форм хозяйствования над землей одновременно можно будет организовать рациональное использование земли и ее охрану. Для достижения поставленной цели было принято решение о приватизации земли. По итогам земельной реформы лучшие пахотные земли бывших сельскохозяйственных предприятий из государственной собственности перешли в частную собственность тех, кто ее не обрабатывает.

По ходу земельной реформы выделенные земельные участки в натуре размерами и конфигурациями не всегда соответствовали элементарным землеустроительным требованиям. Например, нередко встречаются земельные участки очень узкие по ширине с длинными сторонами, при использовании которых всегда возникают определённые трудности.

Основная суть этих трудностей заключается в том, что в свое время земельные массивы, где происходило их разделение по долям, должным образом не были оценены по своим агротехнологическим свойствам. Их просто выделяли из расчета нормы выдела земельного пая. Причины этому были сжатые сроки (1997-1999 гг.) и большие масштабы выполняемых работ по выделению земель на местности, так как за такой короткий срок физически невозможно было соблюсти элементарные землеустроительные требования по формам и конфигурациям земельных участков, не говоря уже о соблюдении агрохимических, природоохранных и других требований. Говорить об эффективном землепользовании на таких территориях без соблюдения названных мер не представляется возможным.

Помимо этого, существуют и другие недостатки по выделению земельных паев в натуре. Например, большинство людей, получивших земельные паи, изначально не собирались становиться собственниками земель, и даже те, у кого было такое желание, не могли эффективно использовать выданные им земли по причине отсутствия материальных и технических средств, а также сильной фрагментации земельных участков [5].

Учитывая сложившуюся непростую ситуацию в сельскохозяйственной отрасли страны, практически одновременно в Азербайджане принимаются два закона: «Об аренде земли» (12 марта 1999 года) и «О земельном рынке» (7 мая 1999 года). Посредством этих законов в стране полным ходом заработал земельный рынок и аренда земли.

В результате возникла проблема оборота земли. Путем наследования и купли-продажи земельные паи начали переходить к тем, кто не проживает в селе и не собирается их обрабатывать. В конечном итоге получилось, что те, кто хочет и может рационально использовать землю, не меняя ее сельскохозяйственного назначения, остались без земель [6]. С возникновением многообразной формы земельной собственности в стране была разрушена территориальная организация, целостность земельных массивов и устойчивость сельского землепользования. На территориях фермерских хозяйств в использовании земли появилось очень много недостатков в виде дальнотельности, чересполосицы, вкрапливания и т. д., устранение которых не представляется возможным без проведения соответствующих землеустроительных работ.

После завершения первого этапа земельной реформы в стране стало очевидно, что у множества фермерских хозяйств общая площадь едва превышает 1,5 гектара, участки разбросаны по разным земельным массивам, находящимся на дальних расстояниях друг от друга, местами до 20 км. На этих землях достаточно сложно проектировать научно-обоснованные севообороты и проводить необходимые агротехнические мероприятия.

В ходе проведения земельной реформы 3442778 граждан (870 тысяч семей) Азербайджана стали собственниками земель. Средний размер земельного пая на

одного человека в республике варьирует от 0,10 га до 1,3 га, что подтверждает факт сильной фрагментации сельскохозяйственных земель Азербайджана. В тоже время 8 641 506 га земель (44,2%) были оставлены в государственной собственности, 31,4 % были отданы в собственность муниципалитетов, а остальные 24,4 % были отведены в частную собственность. Причем в частную собственность были отданы самые лучшие пахотные земли страны. А в собственности у государства практически остались одни пастбища [7].

Реальную картину происходящего с площадями фермерских хозяйств республики покажем на примере Агдашского района. В начале марта 2018 года было завершено создание электронного кадастра земель в Агдашском районе Азербайджана. В этой административной единице имеется 78 тыс. га земель, из которых 50,5 тыс. (64,5%) – сельскохозяйственного назначения, в том числе 50,3 тыс. га (44,2%) – посевные участки. Учет в реальном времени показал, что у 13174 семей района площадь земли в их хозяйствах не превышает одного гектара. Такая картина характерна для всей территории республики. Понятно, что на таких раздробленных участках весьма сложно добиться высоких урожаев и эффективного использования земельных ресурсов. Надо отметить, что после 20 лет проведения земельной реформы правительство Азербайджана признало, что разделение территорий крупных сельхозпредприятий на мелкие участки в виде земельных долей (от 0,10 га в Ленкоранском районе, до 1,23 га в Нефтчалинском районе республики) было не лучшим решением для рационального использования земельных ресурсов.

Понимая остроту проблемы, 14 июня 2016 года правительство, приняло закон «О кооперации в сельском хозяйстве». Через 2,5 года после принятия этого закона, в ноябре 2018 года, посредством объединения владельцами 680 земельных участков жителей сёл Бешдели и Яхадяляк Сабирабадского района республики Азербайджан был создан первый производственный кооператив «Бирлик» на общей территории в 850 гектаров. Сегодня можно с уверенностью сказать, что с принятием в Азербайджане закона «О кооперации в сельском хозяйстве» сделан первый успешный шаг в сторону консолидирования

земельных долей. Следующим решением правительства должно стать принятие закона о консолидации земель. На наш взгляд, принятие такого закона позволит решить проблему раздробленности сельскохозяйственных угодий, повысить конкурентоспособность продукции сельского хозяйства страны, а также восстановить инфраструктуру сельских территорий.

Проведение консолидации земель фермерских хозяйств создаст возможность для объединения малых по площади земельных участков в большие территориальные единицы, что в конечном итоге приведёт к рациональному землепользованию и повышению плодородия почв в этих хозяйствах. В результате формирование крупных земельных массивов с удобной конфигурацией позволит сельскохозяйственным товаропроизводителям организовывать на них эффективные формы хозяйствования, внедрять современные методы ведения сельского хозяйства, а также снижать производственные затраты [8]. В целом, суть механизма консолидации земельных долей заключается в том, что несколько собственников земельных участков, входящих в один массив, по взаимному согласию могут обмениваться своими участками или изменять их границы с целью их рационального использования. Все планируемые мероприятия, связанные с использованием земель, в строгом порядке необходимо проводить на основе землеустроительных проектов.

Выводы

1. В целях обеспечения продовольственной безопасности руководство Азербайджана обязано создать действенную систему регулирования земельных отношений, где главным механизмом должна стать консолидация земель.

2. Инициаторами консолидации земельных долей должны быть сами собственники земельных участков и местные государственные исполнительные власти, отвечающие за регулирование земельных отношений.

3. Во избежание нерационального использования земельных участков на законодательном уровне необходимо ограничить полномочия собственников и

ввести строгий контроль в осуществление купли-продажи и аренды, чтобы исключить попадание ценных пахотных земель в руки некомпетентных людей.

4. Реализация поставленных задач по консолидации земельных долей должна осуществляться строго на основе научно-обоснованных проектов землеустройства.

Список литературы

1. van Dijk T. Dealing with Central European Land Fragmentation: Ph.D. Thesis / Terry van Dijk. - The Netherlands: Uitgeverij Eburon, 2003. - 21p.
2. Thomas J. Attempt on Systematization of Land Consolidation Approaches in Europe / J. Thomas // Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement. 2006. № 3. С. 156–161.
3. Hartvigsen M. Land Reform and Land Consolidation in Central and Eastern Europe after 1989: Experiences and Perspectives: Ph.D. Thesis / Morten Hartvigsen. Aalborg: Aalborg University, 2015. 449 p.
4. Мамедов, Г.Ш. Земельная реформа в Азербайджане: правовые и научно-экономические вопросы / Г.Ш. Мамедов. Баку: Элм, 2000. -374 с.
5. Липски, С. А. Земельные доли: путь к оптимизации землепользования или препятствие при перераспределении земель. Режим доступа: http://dpr.ru/journal/journal_6_11.htm
6. Экономический словарь. Режим доступа: http://abc.informbureau.com/html/caiaeuie_iae.html
7. Буров, В. А. Сделки с земельными долями. Режим доступа: http://av-ue.ru/kzem_dol.phpd=zem_dol_sdelk.html
8. Низамзаде, Т. Н. Пути реформирования системы управления земельными ресурсами Азербайджана. European Journal of Economics and Management Sciences is an international, Scientific journal, Vienna, <https://doi.org/10.29013/EJEMS-19-4-3-13>.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

М. В. Николаев

ФГБНУ «Агрофизический научно- исследовательский институт»

Оценивается влияние климатических изменений на продуктивность мелиорируемых земель Нечерноземья ЕЧР. Показано, что рост ресурсов теплообеспеченности способствует продвижению посевов высокоурожайных культур к северу. Однако, увеличение количества осадков все чаще вызывает резкое переувлажнение засеянных площадей. Оцениваются регрессионные связи между агроклиматическим индикатором условий переувлажнения культур (ГТК ≥ 1.8) и суммами обильных осадков. Обсуждаются меры по смягчению и адаптации для поддержания устойчивой продуктивности мелиорируемых земель

CLIMATE CHANGE IMPACT ON DRAINED LANDS PRODUCTIVITY

Mikhail V. Nikolaev

Agrophysical Research Institute

Climate change impact on the productivity of drained lands in the Non-Black Earth Zone of the European Russia is evaluated. It is shown that the growth of heat supply resources contributes to the promotion of high-yielding crops in the northern direction. However, the increase in precipitation totals is increasingly causing a sharp over – wetting of planted areas. The regression relationships between the agro-climatic indicator of crop over-wetting conditions (HTC ≥ 1.8) and the amounts of abundant precipitation have been revealed. In this regard, mitigation and adaptation measures to maintain sustainable drained land productivity are discussed

Анализ климатических данных с 1945 по 2017 показывает, что условия тепло- обеспеченности в регионе становятся благоприятнее вследствие наблюдаемого повышения температуры воздуха в последние десятилетия. Прирост температуры воздуха в течении теплого периода оказывается наиболее выраженным в июле и составляет от 0.4° до 1.2°C . Сравнение динамики 7-летних скользящих средних температуры воздуха также показало, что температурный фон в июле для северных станций (Петрозаводск, Вытегра, Шенкурск, Котлас и Сыктывкар) в последние два десятилетия приближается к таковому на интервале 1957–1990 для более южных станций (Трубчевск, Смоленск, Кострома, Псков и Вологда). Такое обстоятельство (в терминах сумм активных температур) способствует продвижению посевов высокоурожайных культур, в особенности зернофуражных, силосных и сенных, в северном направлении и таким образом повышению продуктивности земель.

Однако, в последние десятилетия избыточно влажные условия все чаще приводят к значительным потерям продукции полеводства; существенно снижается и качество полученных урожаев (Николаев, 2017б, 2019). Такие условия связаны с наблюдаемым увеличением количества осадков в летние месяцы и появлением их положительных экстремумов из-за усиления циклонической активности в теплеющем климате (Нестеров, 2010; Муравьев и др., 2011; Николаев, 2017а). Последняя охарактеризована нами динамикой индекса Восточно- Атлантического колебания за июнь – август, имеющейся с 1950 (см. рис.).

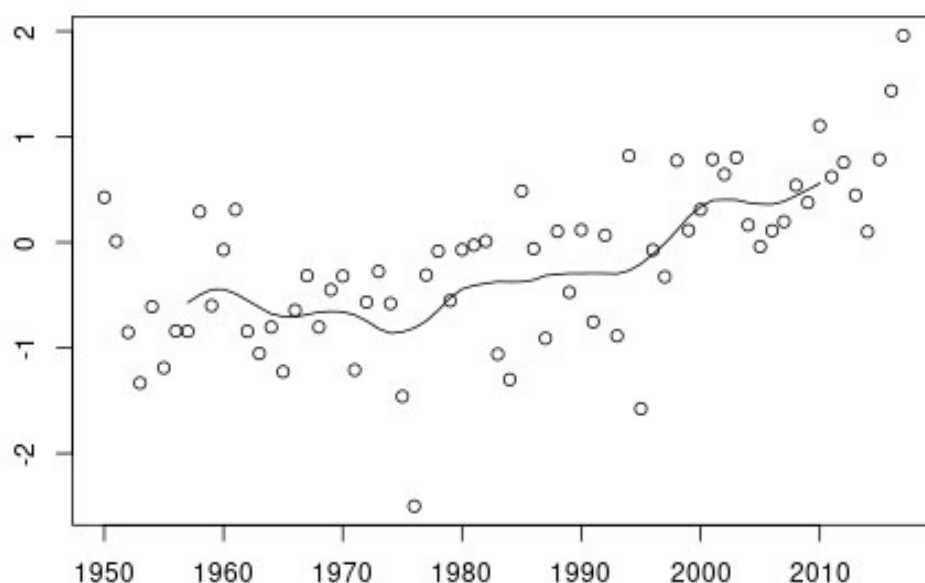


Рис. Динамика летнего индекса Восточно- Атлантического колебания и его 7-летнее скользящее среднее.

Динамика 7-летнего скользящего индекса ВАК за июнь – август свидетельствует о переходе от отрицательной фазы этой климатической моды к положительной фазе с переломной точкой, приходящейся на 1980. Также наблюдается резкое преобладание положительных значений летнего индекса ВАК на протяжении двух последних десятилетий. Это находит отражение в росте величины экстремально высокого количества осадков на интервале 1981–2017 по сравнению с интервалом 1945–1980 в Нечерноземье ЕЧР (см. табл. 1). Экстремально низкое количество осадков для большинства станций также имеет тенденцию к увеличению.

Таблица 1. Экстремумы количества летних осадков на интервалах 1945–1980 и 1981–2017 для некоторых станций Нечерноземья ЕЧР

Название станции, координаты	Норма осадков (мм) 1945–2017	Макс. кол-во (мм) 1945–1980	Мин. кол-во (мм) 1945–1980	Макс. кол-во (мм) 1981–2017	Мин. кол-во (мм) 1981–2017
Псков 57.8° N 28.4° E	238	338 (1960)	120 (1964)	457 (1998)	103 (1992)
Трубчевск 52.6° N 33.8° E	218	369 (1949)	113 (1963)	394 (1984)	53 (2002)
Вологда 59.3° N 39.9° E	212	336 (1963)	62 (1972)	385 (1987)	69 (2002)
Петрозаводск 61.8° N 34.3° E	215	388 (1961)	84 (1955)	396 (2016)	113 (1997)

В агроклиматическом отношении, риски переувлажнения полевых культур удобно охарактеризовать появлением лет с высокими значениями гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова (Селянинов, 1958). По накопленным материалам агрометеорологических обследований установлено, что надежным индикатором возникновения такого риска как корнево-стеблевое полегание является пороговое значение $ГТК = 1.8$ (Пасечнюк, 1990).

Нами предложена градация высоких значений ГТК, позволяющая выделить категории полегания (см. табл. 2). В ней выбраны значения ГТК за июль – период, когда формируется конечный урожай мелкозернистых озимых злаков и происходит интенсивное накопление зеленой массы силосных и сенажных культур. Градация отражает совокупное воздействие продолжительных морозящих и ливневых осадков на степень полегания посевов из-за возникновения условий, которые одновременно приводят к разжиженному состоянию поверхности почвы и увеличению механической нагрузки на стебель (Николаев, 2018). Такому состоянию почвы способствует низкая водопроницаемость суглинистых почв, преобладающих в почвенном покрове Нечерноземья ЕЧР. По этой причине, повторяемость случаев полегания разной интенсивности на таких почвах оказывается несколько выше, чем на почвах легкого механического состава (см. табл. 2).

Таблица 2. Повторяемость полегания разной интенсивности, % лет на интервалах 1945–1980 и 1981–2017 в северной части Нечерноземье ЕЧР

Станция, характеристика почвы по механическому составу	Категория полегания							
	Выраженное 1,8= \leq ГТК VII = \leq 2,5		Сильное 2,5< ГТК VII = \leq 3,5		Очень сильное 3,5< ГТК VII = \leq 4,5		Чрезвычайно сильное ГТК VII > 4,5	
	1945- 1980	1981- 2017	1945- 1980	1981- 2017	1945- 1980	1981- 2017	1945- 1980	1981- 2017
Шенкурск 62.1° N 42.9° E супесчаная	9%	17%	9%	9%	0%	0%	0%	0%
Котлас 61.2° N 46.7° E среднесуглинистая	14%	17%	11%	6%	0%	3%	0%	0%
Сыктывкар 61.7° N 50,8° E среднесуглинистая	14%	23%	6%	14%	3%	0%	0%	0%

Ранее выявлен определяющий и усиливающийся во времени вклад обильных осадков, включая экстремальные осадки, в появление высоких значений ГТК (Николаев, 2018). Поэтому исследованные нами связи между суммами июльских осадков и значениями ГТК VII ≥ 1.8 для интервала 1981–2017 отличаются большей теснотой, чем для интервала 1945–1980. В то же время, анализ вклада сумм июльских температур показал, что на интервале 1981–2017 в северной части Нечерноземья ЕЧР экстремально высокие значениями ГТК VII фиксируются при суммах июльских температур выше их средней многолетней величины.

В табл. 3 приведено сравнение статистических характеристик регрессионных связей между ГТК VII ≥ 1.8 и суммами июльских осадков на указанных интервалах для станций, расположенных в южной, средней и северной частях Нечерноземья ЕЧР.

Таблица 3. Статистические характеристики регрессионных связей между ГТК VII ≥ 1.8 и суммами июльских осадков на интервалах 1945–1980 и 1981–2017 для разных частей Нечерноземья ЕЧР (а и b – параметры линейной регрессии; r – коэффициент корреляции; R – коэффициент детерминации; s – стандартное отклонение)

Станция, характеристика почвы	1945–1980	1981–2017
Смоленск 54.5° N 32.3° E дерново – сильноподзолистая оглееная среднесуглинистая пылеватая почва	a = 0.026 b = -0.843 r = 0,95 R = 0.90 s = 0.21	a = 0.020 b = -0.076 r = 0,98 R = 0.97 s = 0.16
Кострома 57.7° N 40.8° E дерново –среднеподзолистая супесчаная почва	a = 0.024 b = -0.395 r = 0,94 R = 0.89 s = 0.28	a = 0.016 b = 0.269 r = 0,96 R = 0.92 s = 0.15
Вытегра 61.0° N, 36.4° E дерново – среднеподзолистая глеевая среднесуглинистая почва	a = 0.014 b = 0.764 r = 0,88 R = 0.78 s = 0.24	a = 0.018 b = 0.201 r = 0,97 R = 0.95 s = 0.16

Из сравнения статистических оценок регрессионных связей (r , R и s) можно заключить, что для второго интервала связи между возрастающим количеством осадков (с проявлением их экстремальности) и выбранным агроклиматическим индикатором переувлажнения посевов более выражены, чем для первого интервала. Это позволяет более достоверно судить о вкладе сверхобильных осадков на степень рискованности полеводства к эффектам избыточной атмосферной влаги и таким образом осуществлять более надежную экстраполяцию условий переувлажнения культур на ближайшую перспективу.

Выводы

Очевидно, что для устойчивого ведения полеводства и увеличение потенциала использования мелиорируемых территорий потребуются комплекс мер, направленных на смягчение и адаптацию. К ним следует отнести:

– регулирование пропускной способности закрытого дренажа (также учитывая близкое к поверхности расположение уровня грунтовых вод в разных частях Нечерноземья ЕЧР);

- эффективное применение открытого дренажа, в т.ч., приемов обработки почвы, направленных на ускорение стекания избыточной воды с сельскохозяйственных полей;
- осушение низинных болот и полейдеров, почвы которых богаты органическими веществами, под культурные сенокосы;
- внедрение достижений селекции (введение высокопродуктивных сортов, включая виды сеяных трав, устойчивых к полеганию и вирусам, возникающим в избыточно влажных условиях) и др.

Список литературы:

Муравьев А.В., Куликова И.А. Взаимосвязь суммарных осадков над Евразией с центрами действия атмосферы Северного полушария и главными модами изменчивости температуры поверхности Северной Атлантики // Метеорология и гидрология. 2011. № 5, С. 5–16.

Нестеров Е.С. О формировании взрывных циклонов в северо-восточной части Атлантического океана // Метеорология и гидрология. 2010. № 10. С. 44– 53.

Николаев М.В. Климатический мониторинг для оценок уязвимости сельскохозяйственных территорий к эффектам переувлажнения в Нечерноземной зоне Европейской России // Изв. РГО. 2017. Т. 149. Вып. 5. С. 4–16.

Николаев М.В. Уязвимость и адаптация полеводства в регионах России к факторам атмосферной засухи и избыточного увлажнения в условиях изменяющегося климата / Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» Санкт-Петербург, 27-29 сентября 2017 г. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2017. С. 513–520.

Николаев М.В. Оценка изменяющегося вклада обильных осадков в рискованность земледелия в Нечерноземье Европейской России // Изв. РГО. 2018. Т. 150. Вып. 6. С. 1–14.

Николаев М.В. Геостатистическая оценка рискованности земледелия России в условиях изменения климата. Материалы II Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего», посвященной памяти академика Е.И.Ермакова Санкт-Петербург, 2–4 октября 2019 г. СПб./: ФГБНУ АФИ, 2019. С. 631–639.

Пасечнюк А.Д. Погода и полегание зерновых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 212 с.

Селянинов Г.Т. Принципы агроклиматического районирования СССР. «Вопросы агроклиматического районирования СССР» М.: МСХ СССР, 1958. С. 7–13.

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПРИЕМОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ

В. А. Николаев, Л. И. Щигрова

*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет -
МСХА имени К.А. Тимирязева»*

Рассмотрена закономерность изменения агрофизических свойств дерново-подзолистой почвы при разных по интенсивности системах основной обработки.

Применение вспашки снижало плотность сложения пахотного (0–20 см) слоя почвы в среднем до 1,24 г/см³ – под посевами озимой пшеницы и до 1,27 г/см³ – под ячменем.

Одновременно в этом же слое почвы на варианте с отвальной обработкой повышается общая пористость (53,4%) под озимой пшеницей и 52,3% – под ячменем, это на 1,5–2,0% выше по сравнению с минимальной обработкой.

Установлено, что на вспашке возрастает количество водопрочных (> 0,25 мм) агрегатов – 33,9% под посевами озимой пшеницы и 30,2% – под ячменем, а при минимальной обработке соответственно – 29,2 и 29%.

CHANGE OF SODDY PODZOLIC SOIL FERTILITY UNDER MAIN TREATMENT PRACTICES

V. A. Nikolaev, L. I. Schigrova

Russian Timiryazev State Agrarian University

The regularities of soddy podzolic soil agrophysical properties change at main treatment systems different in intensity are considered.

Using of plowing reduces bulk density of arable layer (0–20 cm) of soil averagely to 1,24 g/cm³ under winter wheat and to 1,27 g/cm³ under barley.

At the same time in the same layer of soil in dump treatment variant general porosity increases to 53,4% under winter wheat and to 52,3% under barley, that is 1,5–2,0% higher as compared to minimal treatment.

It is stated that at plowing the amount of water-resistant (> 0,25 mm) elements ascends to 33,9% under winter wheat and to 30,2% under barley, and at minimal treatment it ascends to 29,2% and 29% respectively.

В связи с использованием в современном сельскохозяйственном производстве прогрессивных ресурсосберегающих технологий, освоением короткоротационных севооборотов возрос интерес к изучению агрофизических факторов плодородия почвы (плотность, пористость, водопроницаемость и др.) (Матюк, Полин, 2013).

Одним из важнейших показателей физического состояния плодородия почвы является ее структура. От нее зависит благоприятное сложение пахотного слоя; водные, воздушные, физические, физико-механические свойства и целый

ряд других показателей. Поэтому создание и поддержание оптимального сложения пахотного слоя почвы с помощью разных систем обработки является актуальной задачей современного интенсивного земледелия. Однако динамичность процессов, происходящих в почве под влиянием обработки, а также ее действие на плодородие требуют систематического изучения.

Методика

Исследования проводились на опытном поле Центра точного земледелия (ЦТЗ) на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. Объектом исследования являлись агрофизические свойства почвы под посевами зерновых культур (ячмень и озимая пшеница), которые чередуются в севообороте: викоовсяная смесь на зеленый корм – озимая пшеница + горчица белая на сидерат – картофель – ячмень. В данном опыте изучали две системы основной обработки почвы – отвальную (ежегодная вспашка на глубину 20–22 см) и минимальную (на глубину 10–12 см) (Беленков, Николаев, Шитикова, 2011). Почвенный покров опытного участка представлен дерново-подзолистыми, легкосуглинистыми почвами. Содержание гумуса в пахотном слое (0–20 см) – от 2,0 до 2,5% (по Тюрину), обеспеченность общим азотом (по Корнфилду) низкая – 35,5 мг/кг почвы, тогда как обеспеченность подвижным фосфором (по Кирсанову) высокая – (200–250 мг/кг почвы). Содержание обменного калия (по Масловой) средняя (150–200 мг/кг почвы). рН водной вытяжки колеблется в пределах от 5,8 до 6,2.

Результаты и их обсуждение

В полевом опыте ЦТЗ применение разных систем обработки в зернопропашном севообороте определило неодинаковое сложение пахотного (0–20 см) и подпахотного (20–30 см) слоев дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Так, при отвальной обработке на глубину 20–22 см достигался более высокий уровень оптимизации агрофизического состояния, чем при минимальной.

Результаты исследований показали, что под посевами озимой пшеницы плотность сложения пахотного слоя на варианте с отвальной обработкой была на $0,07 \text{ г/см}^3$ ниже по сравнению с минимальной (рис.).

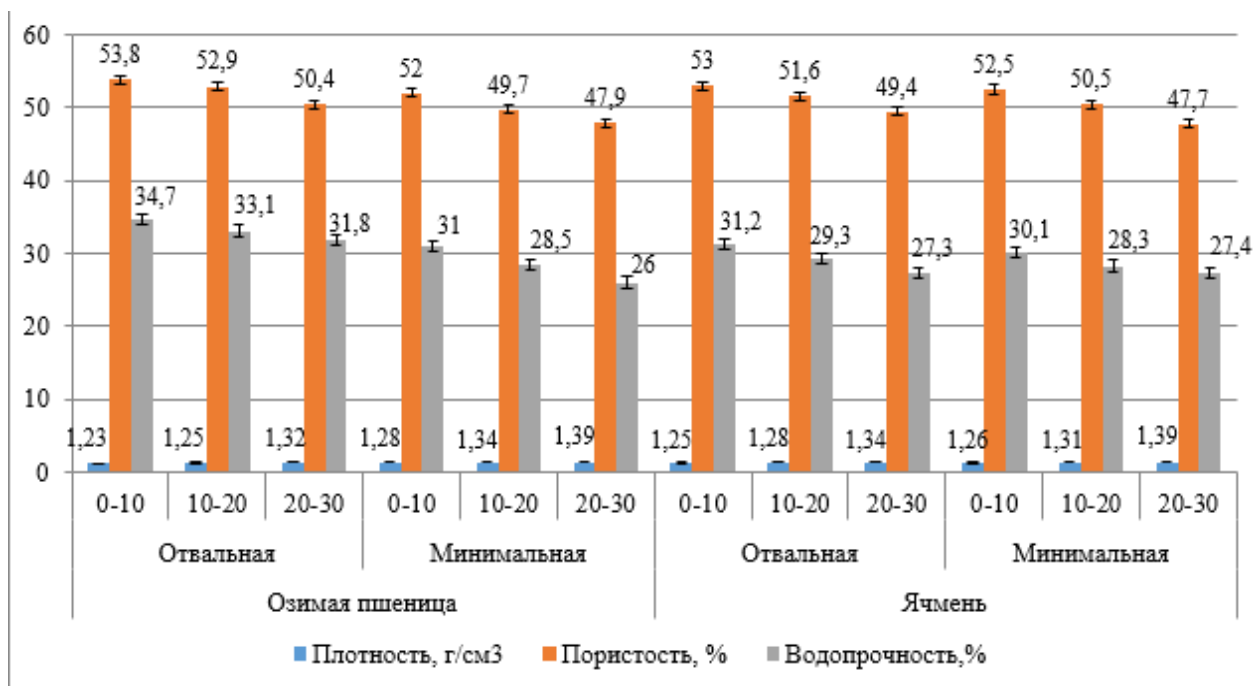


Рис. Влияние основной обработки на плотность сложения, пористость и водопрочность почвы под посевами зерновых культур

Одновременно в пользу отвальной обработки увеличивались пористость (53,4 %) и водопрочность макроструктуры (33,9%). Установлено, что с глубиной пахотного слоя происходит его переуплотнение, так на вариантах с отвальной и минимальной обработками оно составило $0,08 \text{ г/см}^3$. При такой дифференциации наблюдается ухудшение макроструктурного состава нижней части пахотного слоя снижением с 53,4 до 50,4% общей пористости и с 33,9 до 31,8% водопрочных агрегатов на вспашке, а на минимальной обработке с 50,9 до 47,9% и с 29,8 до 26% соответственно.

Наименьшую плотность сложения пахотного (0–20 см) слоя почвы под посевами ячменя отмечали в варианте с отвальной обработкой, где она составила $1,27 \text{ г/см}^3$. С увеличением глубины до 30 см наблюдается переуплотнение слоя (20-30 см) на варианте с отвальной обработкой до $1,34 \text{ г/см}^3$, а на минимальной до $1,39 \text{ г/см}^3$.

По результатам исследований при применении минимальной обработки на 10–12 см, а также вспашки на 20–22 см, общая пористость пахотного слоя почвы не опускалась ниже оптимальных значений и составляла более 50%.

Агротехника сельскохозяйственных культур оказывает влияние на влагоемкость почвы и ее влажность завядания путем улучшения физических свойств почвы лишь в течение непродолжительного времени. Более существенное воздействие культурные растения и приемы их возделывания оказывают на водопроницаемость и влагоемкость почвы, то есть ее способность поглощать воду атмосферных осадков (Лошаков, 2012).

На содержание влаги влияет плотность сложения пахотного слоя, наличие уплотненных прослоек в изучаемых слоях и сквозных вертикальных пор. В верхнем слое почвы на вспашке расход влаги на физическое испарение был на 2,5 мм, или на 14 % выше, чем при минимальной обработке под посевами озимой пшеницы и на 0,6 мм, или на 3,4% – под посевами ячменя, что связано с площадью физического испарения за счет волнистого рельефа поля и отсутствия растительных остатков, оставленных на поверхности (табл.).

Таблица. Содержание почвенной влаги на вариантах опыта под посевами зерновых культур, мм

Слой почвы, см	Содержание влаги			
	<i>озимая пшеница</i>		<i>ячмень</i>	
	отвальная	минимальная	отвальная	минимальная
0–10	17,8	20,3	19,6	20,2
10–20	18	19,5	20,2	19,4
20–30	19,1	20,6	20,3	17,4

С увеличением глубины под посевами озимой пшеницы преимущество сохранялось за отвальной обработкой почвы в сравнении с минимальной, а под посевами ячменя преобладал вариант с минимальной обработкой.

Таким образом, наблюдения за изменением содержания влаги в почве под посевами зерновых культур показали ее изменчивость, как по изучаемым вариантам обработки, так и по слоям почвенного профиля.

Выводы

1. Минимальная обработка не приводила к значительному ухудшению агрофизических свойств пахотного (0–20 см) слоя почвы.

2. Наименьшую плотность сложения пахотного слоя почвы отмечали на варианте с отвальной обработкой (1,24 г/см³ – под посевами озимой пшеницы и 1,26 г/см³ – под ячменем). Более интенсивное уплотнение почвы до 1,39 г/см³ под посевами обеих культур наблюдалось в подпахотном (20–30 см) слое почвы в варианте с минимальной обработкой, общая пористость не опускалась ниже оптимальных значений.

3. Расход влаги на физическое испарение был на 14 % выше на вспашке, чем при минимальной обработке под посевами озимой пшеницы и на 3,4% – под посевами ячменя.

Библиографический список

1. Беленков А.И., Николаев В.А., Шитикова А.В. Агроэкологическая концепция исследований и агрофизические свойства почвы в посадках картофеля полевого опыта ЦТЗ // Агрофизика. 2011. № 3. С. 5–14.
2. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы. – М.: ВНИИА. 2012. С. 217
3. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в адаптивном земледелии: учебное пособие / Н.С. Матюк, В.Д. Полин. М.: Изд. РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. 2013. С. 12

ВЛИЯНИЕ АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО

А. В. Прущик

ФГБНУ «Курский Федеральный Аграрный Научный Центр» (Курский ФАНЦ)

Заложены два разреза на контроле и на варианте с лесными полосами. Изучено структурное состояние пахотных горизонтов в сравнении. Структура пахотного горизонта на варианте с лесными полосами лучше контрольного варианта.

INFLUENCE OF AGROMELIORATIONAL ACTIVITIES ON CHERNOZEM TYPICAL PROPERTIES

A. V. Prushchik

FGBSI «Federal Agricultural Kursk Research Center» (Kursk FARC)

Two soil cuts are laid on the control and on the variant with forest belts. The structural state of arable horizons in comparison was learned. The arable horizon structure on the variant with forest belts is better than the control variant.

Ведение интенсивной и базовой технологий возделывания сельскохозяйственных культур с использованием средней и глубокой отвальных обработок со временем приводит к разрушению агрономически ценных агрегатов, снижению коэффициента структурности в пахотном слое (Зинченко, Щукин, 2020), однако, использование минимальной обработки почвы при ведении тех же технологий ведет к уменьшению потери гумуса, снижению последствий эрозионных процессов, но приводит к уплотнению почвы (Черкасов, Пыхтин, Гостев, 2017).

Исследования проводили на опыте ФГБНУ «Курский ФАНЦ», расположенном в Медвенском районе Курской области, вблизи х. Черниченские дворы. На этапе закладки опыта в 1985 году были посажены двухрядные тополевые стокорегулирующие лесные полосы, усиленные водоулавливающими канавами и валами, расположенными через 216 метров. (Подлесных, Зарудная, 2017). Выбранный участок типичен для большей части провинции черноземных почв Курской и соседних с нею областей.

Последние десять лет на опытном участке в технологии возделывания зерновых и крупяных культур использовали минимальную обработку почвы на глубину 10-12 см с заделкой растительных остатков.

Почвенный покров на опытном участке однородный. Для изучения почвенного профиля были заложены разрезы: на контрольном водосборе западной экспозиции и на водосборе с двухрядными лесными полосами, усиленными водоулавливающими канавами и валами, между первой и второй лесной полосой, расположенном на склоне западной экспозиции. Обработка почвы и возделываемые сельскохозяйственные культуры одинаковые на изучаемых водосборах.

Объект изучения – чернозем типичный пахотный среднемощный тяжелосуглинистый, сформированный на лессовидных суглинках.

Плотность почвы отбирали почвенным буром-пробоотборником, разработанным и запатентованным в ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Вытовтов, Сухановский, Прущик, Салимгареева, 2018). Сухое просеивание проводили по Саввинову, мокрое – по Бакшееву (Вадюнина, Корчагина, 1986).

Морфологическое строение исследуемых почвенных разрезов сходное и характеризуется следующим профилем: Ap_1 - Ap_2 -A-AB- B_k - BC_k -C.

Горизонт Ap_1 (0–10(12) см) имеет очень рыхлое сложение, зернисто-комковатую структуру. Плотность сложения горизонта составила около $1,00 \pm 0,02$ г/см³. Граница ровная, отличается по плотности.

Горизонт Ap_2 (10–28(30) см) отличается от предыдущего и нижележащего большей плотностью сложения $1,27 \pm 0,02$ г/см³, имеет комковато-порошистую структуру сложения.

Средний взвешенный диаметр при сухом просеивании на контроле для горизонта Ap_1 составил 4,50 мм, на водосборе – 3,80 мм. Для горизонта Ap_2 – 4,01 мм и 4,41 мм, соответственно.

Средний взвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов (мокрое просеивание) на контроле для горизонта Ap_1 составил 0,60 мм, на водосборе – 0,85 мм. Для горизонта Ap_2 – 0,53 мм и 0,80 мм, соответственно.

Следовательно, почва на поле с лесными полосами, усиленными водоулавливающими канавами и валами, имеет средние водоустойчивые

агрегаты более крупные по сравнению с контролем. Они более устойчивы к негативным воздействиям эрозионных процессов.

Работа выполнена в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве с факультетом почвоведения ФГБОУ ВО «МГУ им. М. В. Ломоносова».

Список литературы

1. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
2. Выговтов В. А., Сухановский Ю. П., Прущик А. В., Салимгареева О. А. Почвенный бур-пробоотборник / патент № 2657555. Бюллетень Изобретений. 2018. № 31.
3. Зинченко С. И., Шукин И. М. Оценка антропогенного влияния на структуру почвенного покрова агроэкосистем Верхневолжья // Агрофизика. 2020. № 1. С. 16–22.
4. Подлесных И. В., Зарудная Т. Я. К усовершенствованию теоретических основ противоэрозионной организации территории сельхозпредприятий для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов в системах земледелия Центрального Черноземья // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 6. С. 13–18.
5. Черкасов Г. Н., Пыхтин И. Г., Гостев А. В. Ареал применения нулевых и поверхностных обработок при возделывании колосовых культур на территории Европейской части Российской Федерации // Земледелие. 2017. № 2. С. 10–14.

ВЛИЯНИЕ СЕДИМЕНТАЦИИ НА КАЧЕСТВО АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ПОЧВЫ В ПОЙМЕ Р. ОКИ

П. И. Пыленок

Мещерский филиал ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Рязань

В статье рассматривается роль паводковой седиментации в загрязнении аллювиальных почв тяжелыми металлами. На основе натурных исследований установлен размер седиментной нагрузки на пойменный ландшафт в среднем течении р. Оки. Изучены агрохимические и агрофизические свойства седиментов и почв, показано, что с увеличением седиментной нагрузки содержание органики в седиментах уменьшается. Между содержанием металлов в почве и в седиментах выявлена тесная взаимосвязь.

THE EFFECT OF SEDIMENTATION ON THE QUALITY OF ALLUVIAL SOIL IN THE FLOODPLAIN OF THE RIVER THE OKA

P. I. Pylenok

*All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation
(VNIIGiM) - Meshchersky branch, Ryazan*

The article discusses the role of flood sedimentation in the contamination of alluvial soils with heavy metals. Based on field studies, the size of the sediment load on the floodplain landscape in the middle reaches of the Oka river was determined. The agrochemical and agrophysical properties of sediments and soils were studied. It was shown that the organic content in sediments decreases with increasing sediment load. There is a close relationship between the content of metals in the soil and in sediments.

Поймы рек являются своеобразными аккумуляторами антропогенного воздействия, формируемого на водосборе сельскохозяйственным производством, выбросами и сбросами селитебных территорий, особенно крупных промышленных центров. Почвообразование в поймах зависит от многих процессов, которые наиболее активно развиваются в период половодий (Виленский, 1955). При этом основными поставщиками загрязняющих веществ являются паводковые воды и седименты. Наиболее опасным является загрязнение аллювиальных почв тяжелыми металлами (ТМ), которые могут попадать в трофические цепи. В связи с этим актуальной научной задачей является оценка роли паводковой седиментации в загрязнении аллювиальных почв тяжелыми металлами.

Материалы и методы

Натурные исследования выполнены в пойме р. Оки в среднем ее течении в районе г. Рязани в рамках российско-германского сотрудничества (Новосельцев и др., 2002). Объект исследования включал два основных участка поймы, закрепленные ортогональными к руслу реки створами, и оснащенные пунктами измерения и отбора проб почв, седиментов, паводковых, русловых, поровых и грунтовых вод. Первый створ пересекает пойму от коренного левого берега до русла Оки у пос. Солотча в 20 км выше по течению от г. Рязани и проходит через естественные пастбища и сенокосы, мелиорируемые земли и закустаренное урочище. Второй створ располагается выше по течению в 5 км от г. Рязани, пересекает пойму от дамбы автодороги Рязань-Нижний Новгород до излучины Оки к Луковского леса. Створ проходит преимущественно через пахотные мелиорирующие земли и частично естественные сенокосы и пастбища.

Почвы Окской поймы характеризуются высокими агротехническими свойствами. Реакция почвенного раствора изменяется от слабокислой до нейтральной, содержание глинистых частиц от 40 до 75%, гумуса от 3...4 до 6%. Благодаря таким свойствам аллювиальные почвы выполняют роль геохимического барьера для загрязняющих веществ при антропогенном воздействии.

Методика включала комплексные исследования компонентов пойменного ландшафта – рельефа, пойменных почв, мониторинг качества компонентов гидросферы, включая почвенную влагу, объем и качество паводковых вод и седиментов. Отбор седиментов производился с помощью специальных седиментных матов. Содержание тяжелых металлов в компонентах гидросферы (паводковые, речные, дренажные и грунтовые воды, почвенная влага) и кадмия во всех компонентах определялось атомно-абсорбционным методом (ААС), а для почвы и седиментов в том числе использовался рентгенофлуоресцентный (РФА) метод.

Результаты и обсуждение

Анализ паводковых седиментов (табл. 1) показал, что их агрохимический состав характеризуется близким к экологической норме значением рН 6,5...6,7, средним содержанием фосфора 25 мг/100 г и средним содержанием калия 42 мг/100 г. Содержание в них физической глины достигает 70%, калия в 4...12 раз, а фосфора в 2...3 раза больше, чем в подстилающей почве. Исследования показали, что содержания органики с увеличением седиментной нагрузки снижается от 52 до 12% и описывается следующей зависимостью:

$$C_{орг} = 16,1N_{сед}^{-0,2436}, \quad (1)$$

где $C_{орг}$ – концентрация органического углерода в седиментах, %; $N_{сед}$ – седиментная нагрузка на пойменный агроландшафт, кг/м² ($R^2 = 0,7694$).

Таблица 1 – Агрохимический состав паводковых седиментов

Место пробоотбора	рН солевой вытяжки	Содержание P ₂ O ₅ , мг/100 г	Содержание K ₂ O, мг/100 г	Содержание гумуса в %
Створ II ПК 1	6,6	24,5	30,5	3,60
Створ II ПК 10	6,5	30,7	47,2	5,00
Створ II ПК 14	6,7	28,0	50,5	5,25
Створ II ПК 27+50	6,7	17,1	37,5	5,00

Такие агрохимические и агрофизические показатели обеспечивают несомненную удобрительную ценность для подстилающих аллювиальных почв, что отмечалось и в других исследованиях. Одновременно седименты содержат и большее, чем почвы, количество загрязняющих веществ (табл. 2), что создает экологические риски потери почвенного плодородия (Яшин, Пыленок, 2004; Яшин и др., 2018).

Наибольшее превышение элементов в паводковых седиментах относительно подстилающей аллювиальной почвы отмечается по никелю – 96,3% и хрому – 59,07%. Наоборот, по цинку отмечается небольшое снижение

концентрации на 1,67%. Приоритетный ряд превышения содержания металлов в седиментах относительно почвы выглядит следующим образом:



На основе данных табл. 2 построена диаграмма (рис.1) и получена близкая к линейной зависимость (коэффициент корреляции равен 0,973) концентрации металлов в почве от их концентрации в паводковых седиментах:

$$C_{\text{почв}} = 0,88C_{\text{сед}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{почв}}$ – концентрация металлов в почве, мг/кг; C – содержание металлов в паводковых седиментах, мг/кг.

Таблица 2 – Содержание металлов в верхнем слое аллювиальной почвы и в паводковых седиментах р. Оки, мг/кг

Металлы	Место пробоотбора	Почвы	Седименты	Превышение		Среднее по элементам, %
				абс.	%	
Алюминий	ПК 10	49650	69000	19350	39	14,83
	ПК 16	45150	47650	2500	5,5	
	ПК 26+60	43150	43150	0	0	
Железо	ПК 10	31300	32250	1200	3,8	4,63
	ПК 16	25350	26800	1450	5,7	
	ПК 26+60	25000	26100	1100	4,4	
Калий	ПК 10	7750	12450	4700	60,6	30,67
	ПК 16	6450	8000	1550	24	
	ПК 26+60	6750	7250	500	7,4	
Магний	ПК 10	8400	9350	950	11,3	6,07
	ПК 16	7300	7500	200	2,7	
	ПК 26+60	7100	7400	300	4,2	
Кальций	ПК 10	1175	1670	495	42,1	18,7
	ПК 16	1535	1595	60	3,9	
	ПК 26+60	1345	1480	135	10	
Натрий	ПК 10	271	396	135	46,1	17,2
	ПК 16	216	229	125	6	
	ПК 26+60	203	202	-1	-0,5	
Марганец	ПК 10	182	210	28	15,3	4,7
	ПК 16	180	180	0	0	
	ПК 26+60	165	163	-2	-1,2	
Цинк	ПК 10	96	91	-5	-5	-1,67
	ПК 16	73	73	0	0	
	ПК 26+60	74	74	0	0	
Хром	ПК 10	68	182	114	167,6	59,07
	ПК 16	63	67	4	6,3	
	ПК 26+60	61	63	2	3,3	
Никель	ПК 10	29	107	78	269	96,3
	ПК 16	29	32			

Металлы	Место пробоотбора	Почвы	Седименты	Превышение		Среднее по элементам, %
				абс.	%	
	ПК 26+60	30	33			
Медь	ПК 10	16	20,5	3,5	21,9	37,8
	ПК 16	12,5	17	4,5	36	
	ПК 26+60	13,5	21	7,5	55,5	
Ртуть	ПК 10	0,13	0,072	-0,058	-44,6	11,5
	ПК 16	0,08	0,14	0,14	75	
	ПК 26+60	0,146	0,152	0,152	4,1	

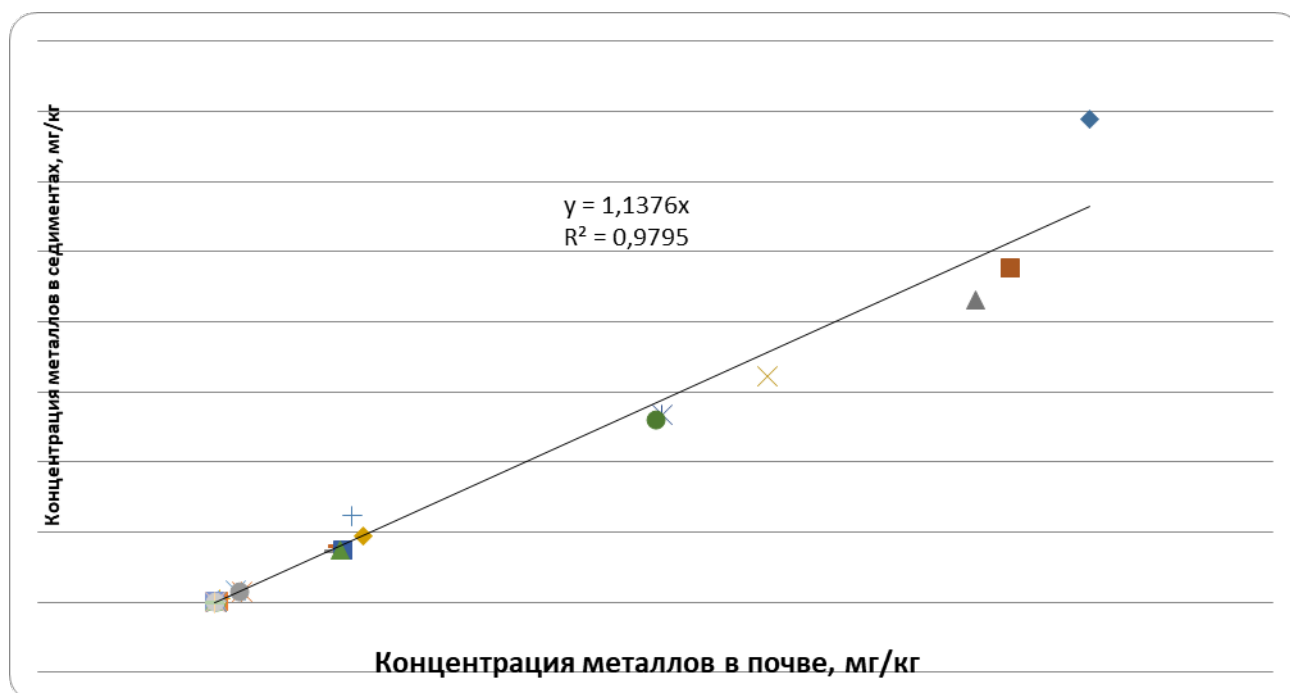


Рисунок – Взаимосвязь концентрации металлов в осадках и подстилающей аллювиальной почве

Результаты наших исследований показывают, что основным источником поступления тяжелых металлов в почву являются паводковые седименты. Седиментная нагрузка на почву выровненного массива центральной части поймы в условиях средневысокого паводка достигала 12,9 т/га. По данным более ранних исследований Мещерской ЗОМС (Куркин, 1971) в 1960-е годы на участках гривисто-лощинного рельефа седиментная нагрузка достигала 32 т/га.

Заключение

На основе натурных и лабораторных исследований дана количественная оценка влияния паводковой седиментации на свойства аллювиальной почвы Окской поймы в ее среднем течении. При уровне седиментной нагрузки до

12,9...32 т/га седименты благодаря более высокому содержанию в них илистой фракции и питательных веществ оказывают как удобрительное воздействие на подстилающую аллювиальную почвы, так и загрязняющее. Выявлено, что содержание металлов в седиментах превышает их уровень в аллювиальной почве, тесная взаимосвязь между ними описывается близкой к линейной зависимостью.

Список литературы

1. Виленский Д. Г. Почвы Окской поймы. М.: МГУ, 1955. – 70 с.
2. Куркин К.А. Мелиоративная типизация земель Приокской поймы, пути их первичного освоения и сельскохозяйственного использования// Осушение и освоение земель. М.: Московский рабочий, 1971. С. 195–219.
3. Новосельцев В.Н. и др. Техногенное загрязнение речных экосистем / Новосельцев В.Н., Бесфамильный И.Б., Кизяев Б.М., Райнин В.Е., Виноградова Г.Н., Грэм Т., Добрачев Ю.П., Ильина Т.А., Коломийцев Н.В., Майсснер Р., Митрюхин А.А., Мюллер Г., Пыленок П.И., Фриммель Ф.Х., Яхья А., Яшин В.М. М.: Научный мир, 2002. 140 с.
4. Яшин В.М., Пыленок П.И. Загрязнение пойменных агроландшафтов в среднем течении Оки // Юбилейный сборник научных трудов ВНИИГиМ «Мелиорация и окружающая среда», Т. 1. М.: ВНИИА, 2004. С. 286–296.
5. Яшин В.М. и др. Оценка загрязнения и перспективы фиторемедиации аллювиальных почв Окской поймы // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. Монография. В 5 томах. Под редакцией В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М.: ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. С. 212–2018.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПОЧВ ПО ТОМОГРАФИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

Е. Б. Скворцова², Е. В. Шейн^{1,2}, А. В. Дембовецкий¹

¹*Почвенный институт им. В. В. Докучаева, г. Москва, Россия;*

²*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
факультет почвоведения, г. Москва, Россия*

Структура порового пространства почв рассматривается в виде дифференциального и кумулятивного распределения объемов пор по их размерам. Предлагается использовать параметры этих томографически полученных распределений как параметры-индикаторы физического состояния агропочв.

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE SOILS PORE SPACE STRUCTURE BY TOMOGRAPHIC STUDIES

E. B. Skvortsova¹, E. V. Shein^{1,2}, A. V. Dembovetskiy²

¹*Dokuchaev Soil Science Institute, Pyzhevskii per. 7, Moscow, 119017 Russia;*

²*Lomonosov Moscow State University,*

GSP 1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russian Federation

Modern computed tomography makes it possible to obtain images of the pore space of soils under various magnifications, in flat and volumetric images of soil pores. Thanks to these modern tools, researchers are increasingly beginning to pay attention to the fact that the structure of the soil is, first of all, its functions in relation to soil regimes. These functions determine the structure of the pore space: retention volumes and conductive substances (filter pores), pore space available for plant roots to penetrate, etc. Thanks to modern methods and theoretical foundations that were developed and disseminated by Russian soil physicists and hydrologists, an understanding is emerging about the characteristics of the structural hierarchical level of soils. Computed tomography methods non-destructive volumetric study of soils are increasingly used in studies of the structure of the solid phase and pore space. To assess the physical state of soils, in particular, the processes of physical degradation of soils, tomographic parameters such as open and closed porosity, pore size distribution, and numerical volumetric values of micro- and mesopores are used. Much attention is paid to estimating the volumes of macropores that quickly conduct moisture and the substances it contains, representing «preferential migration routes», similar to «hydrological windows» in terms of hydrogeologists, but of a different (soil) scale.

Note that, thanks to computer processing of tomographic images, it is possible to quantitatively investigate the distribution of pore volumes by their sizes, which is the most important characteristic of the soil-physical functioning of soils.

Usually, in loamy soils, it is possible to determine the volumes of pores with a diameter of 0,1–0,5 mm refer to macropores responsible for the functions of moisture movement and especially for the drainage of excess water in the arable layer and its aeration. In addition, pores of this size are responsible for root growth (most row crops require pores with a diameter of 0,2 mm). Of course, these are the most important agrophysical properties and processes that require special attention and monitoring, which is indicated in many modern soil-tomographic works. In this regard, it is assumed that the analysis of

the differential distribution of pore volumes by their sizes is an important agrophysical indicator of the state of the pore space of the soil. In addition, the integral characteristics of the pore distribution can be used. As an indicator of the physical state of soils, using the general approaches to assessing the pore space proposed by Dexter and used by the authors for the cumulative distribution of pore volumes over their diameters. These physical characteristics, based on tomographic studies, are increasingly penetrating the physical characteristics of soils, presenting a quantitative digital basis for describing the structure of the pore space of soils.

Если до настоящего времени структура почв понималась и оценивалась в основном как распределение агрегатов почвы по размерам, то сейчас этот термин все больше преобразуется в отношении структуры порового пространства как центрального узлового свойства, определяющего и проводящие, и сохраняющие, и многие другие физические свойства и процессы. Обладая мощными средствами изучения почвы в плоских и объемных изображениях при различных увеличениях, исследователи все больше уделяют внимание тому, что структура почвы – это, прежде всего, её функции в отношении почвенных режимов. Эти функции определяются структурой порового пространства: объемами пор, удерживающих и проводящих вещества (фильтрующих пор), поровым пространством, доступным для проникновения корней растений, и т. д. Благодаря современным методам и теоретическим основам, которые разрабатывали и распространяли отечественные физики и гидрологи почв, сложилось представление о структурных иерархических уровнях почвы. Методы компьютерной томографии, допускающие неразрушающее исследование внутреннего строения образца, все чаще применяются в изучении структуры твердой фазы и порового пространства почв. Для оценки физического состояния почв, в частности, процессов физической деградации почвы, используются такие томографические параметры как открытая и закрытая пористость, распределение пор по размерам, численные объемные значения микро- и мезопористости. Большое внимание уделяется оценкам объемов макропор, которые быстро проводят влагу и содержащиеся в ней вещества, представляя собой «преимущественные пути миграции», аналогичные «гидрологическим окнам» в терминах гидрогеологов, но иного (почвенного) масштаба (Katagi, 2013).

В чем особенности и преимущества томографического рассмотрения структуры порового пространства почв? Прежде всего, в том, что удастся

напрямую количественно исследовать распределение реальных объемов пор по их размерам – важнейшую характеристику почвенно-физического функционирования почв. В качестве примера была исследована тяжелосуглинистая агросерая почва (*Phaeozem albic*, WRB 2014 г., версия 2015 г.) из Владимирского ополья, достаточно подробно описанная в литературе (Shein et al., 2017). На рис. представлены дифференциальное и кумулятивное распределение томографических объемов пор по их диаметрам в диапазоне от 0.1 до 0.67 мм. Отметим, что этот диапазон соответствует категории макропор. Расчеты объемных томографических показателей выполнены в фирменном программном обеспечении Bruker CT analyzer (CTan).

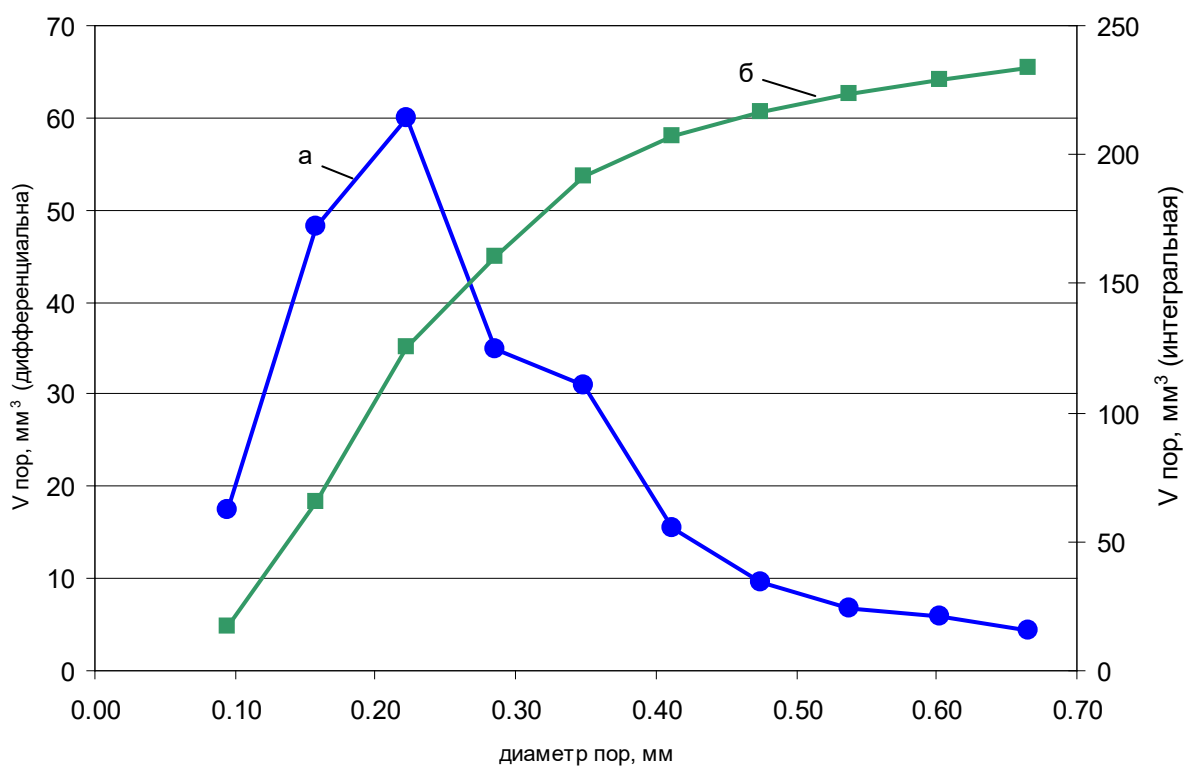


Рис. Распределения объемов пор ($V_{\text{пор}}, \text{мм}^3$) в дифференциальном (а) и интегральном (б) виде для гор. Апах тяжелосуглинистой агросерой почвы

В приведенном примере пахотного горизонта агросерой почвы объемы пор распределены куполообразно с максимумом в области 0.2–0.25 мм, что указывает на благоприятное агрофизическое состояние порового пространства, так как поры диаметром 0.1–0.3 мм относятся к макропорам, ответственным за функции передвижения влаги и особенно дренирования избытка воды в пахотном слое и его аэрацию. Кроме того, поры именно таких размеров

ответственны за рост корней (для большинства пропашных культур требуются поры диаметром 0.2 мм). Безусловно, это важнейшие агрофизические свойства и процессы, требующие особого внимания и мониторинга, что указывается во многих современных почвенно-томографических работах. В связи с этим предполагается, что анализ дифференциального распределения объёмов пор по их размерам является важным агрофизическим индикатором состояния порового пространства почвы.

В последнее время для характеристики агрофизического состояния почв часто используется индекс почвенно-физического состояния (soil physical quality), разработанный А. Декстером, (Dexter, Czyż, 2007). Этот индекс в качестве критерия использует угол наклона кривой водоудерживания в области доступной влаги и указывает на способность почвы удерживать и проводить влагу. В то же время многие авторы указывают на необходимость разработки новых критериев для оценки и мониторинга состояния почв, в особенности в отношении их физических и гидрологических свойств (Bacheer et al., 2019; Büneemann et al., 2018). Используя томографический подход к анализу структуры порового пространства можно предложить по сути аналогичный показатель физического состояния почв, рассчитанный по углу наклона интегральной кривой распределения пор по размерам в диапазоне активных пор диаметром 0.1–0.3 мм, агрофизически важных для движения воды, питательных веществ, почвенного воздуха и развития корней. В дальнейших работах по изучению структуры порового пространства почв планируется подробное изучение этого параметра в почвах разного генезиса как индикатора агрофизического состояния и для мониторинга физических свойств почв.

Благодарности

Работа частично финансово поддержана РФФИ, проект 19-29-05112_мк, «Цифровая физика и гидрология почвы: основы пространственно-динамического анализа, прогнозирование рисков критических ситуаций и оптимальное управление», проекты фундаментальных научных исследований, 04 БИОЛОГИЯ, 04-180 почвоведение, руководитель проекта проф. Шеин Е. В.

Список литературы

1. T. Katagi. Soil Column Leaching of Pesticides. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 221 (2013).
2. E. V. Shein, V. I. Kiryushin, A. A. Korchagin, M. A. Mazirov, A. V. Dembovetskii, L. I. Il'in. Assessment of agronomic homogeneity and compatibility of soils in the Vladimir Opolie region. *Eurasian Soil Science*, 10 (2017), p. 1166–1172.
3. A. R. Dexter, E. A. Czyż. Applications of S-theory in the study of soil physical degradation and its consequences. *Land Degradation & Development*, 4 (2007), p 69–381.
4. M. Bacher, O. Schmidt, R. Creamer, G. Bondi. Comparison of Soil Physical Quality Indicators Using Direct and Indirect Data Inputs Derived from a Combination of In-Situ and Ex-Situ Methods. *Soil Science Society of America Journal*, 83 (2019), p. 5–17. 10.2136/sssaj2018.06.0218.
5. E. K. Bünemann, G. Bongiorno, B. Zhanguo, R. Creamer. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, (2018), p. 105–125. 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.

ДИНАМИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЛУГОВО-БУРЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ

А. А. Суняйкин, Н. А. Селезнева, Г. П. Хоменок, Т. А. Асеева
*Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
Россия, Хабаровский р-он, с. Восточное, ул. Клубная, д. 13*

Исследования проводились на лугово-бурых тяжелосуглинистых почвах Среднего Приамурья для выявления динамики агрохимических показателей в естественных и антропогенно-преобразованных экосистемах. Содержание подвижного фосфора снизилось на 4,4–6,0 мг/100 г почвы, обменного калия на 15,1–20,0 мг/100 г почвы. Содержание минеральных форм азота в почвах возросло на 1,9–6,9 мг/кг по сравнению с природными почвами.

Ключевые слова: агрохимические показатели, динамика, агроценоз, минеральные удобрения, Среднее Приамурье.

THE DYNAMICS OF AGROCHEMICAL INDICATORS IN NATURAL AND ANTHROPOGENIC ECOSYSTEMS OF MEADOW-BROWN SOILS OF THE MIDDLE AMUR REGION

A.A. Sunyaikin, N. A. Selezneva, G. P. Homenok, T. A. Aseeva
Far Eastern Agricultural Research Institute (FIARI)

Intensification of agriculture leads to agrochemical degradation of land, such influences can be attributed to degumification, increase in acidity, change in the content of macro and micronutrients, deterioration of the physical properties of the soil. Studies have been conducted on meadow-brown, heavy loamy soils in the Middle Amur region to identify the dynamics of agrochemical indicators in natural and man-made ecosystems. The aim of the research was to study the dynamics of agrochemical indicators in the natural and man-made ecosystems of meadow-brown soils of the Middle Amur region. The work was carried out in long-term stationary experiments in 2018–2020, laid consecutively on three fields of field crop rotation in 1963–1965. In the soils studied, the availability of phosphorus ranged from medium-to-natural ecosystems to low in variants with a double phosphorus background and very low on a fertilizer-free background. The availability of potassium has varied from high in the natural ecosystem to elevated in the variant with mineral fertilizers and medium in the control variant. The content of mobile batteries (P_2O_5 and K_2O) is at the level of 1.7–3.3 mg/100g of soil and 11.5–16.4 mg/100g of soil respectively. In the soils of the field hospital there is an accumulation of mineral forms of nitrogen 8.7–13.7 mg/kg, the content of mineral nitrogen in the soils of the meadow is 6.8 mg/kg. Prolonged intensive agricultural use of soils has led to a change in the acid-alkaline properties of the soil in variants without the use of mineral fertilizers pHsol was 4.2–4.4. Hydrolytic acidity compared to natural soils decreased in the variants with the after-exposure of lime by 0.7 mg-eq./100 g, and in variants with mineral fertilizers by 0.5–0.8 mg-eq./100 g.

Антропогенное использование почв при выращивании сельскохозяйственных культур вызывает изменение их химических, физических, агрохимических и морфологических свойств на всех уровнях организации почвенного профиля (Зайдельман, 2009; Веремеенко, Фурманец, 2014).

Многие авторы отмечают негативное влияние интенсивности сельского хозяйства, приводящее к агрохимической деградации земель (Бакина и др, 2014; Голов, 1990). К таким негативным влияниям можно отнести дегумификацию, увеличение кислотности, изменение содержания макро- и микроэлементов, ухудшение физических свойств почвы (Ковшик и др., 2011; Кузнецова и др., 2009). Интенсивность и направленность процессов деградации находятся в прямой зависимости от степени и длительности антропогенного воздействия (Уткаева, Скворцова, 2009; Чендев, 2011).

Динамика изменения содержания агрохимических показателей в пределах одной почвенной разности может привести к значительным колебаниям урожайности культур и качества получаемой продукции. Рост урожайности приводит к усилению выноса питательных элементов из почвы, и, как следствие, их отрицательному балансу в севообороте (Веремеенко, Фурманец, 2014).

Цель исследований – изучить динамику агрохимических показателей в естественных и антропогенно-преобразованных экосистемах лугово-бурых почв Среднего Приамурья.

Материалы и методика исследований

Исследования проводились в 2018–2020 годах в длительных стационарных опытах, заложенных в 1963–1965 гг. В качестве экосистемы, которая никогда не подвергалась антропогенному воздействию, выбран луг.

Схема опыта включала следующие варианты: без удобрений – контроль; последствие внесения в течение 6 ротации по 100 т торфокомпоста на 1 га севооборотной площади (ТФК по 100 т/га); последствие известкования, проводившегося в течение 6 ротаций севооборота (32 т/га известковой муки) с доведением общей дозы Са до 2,25 г.к. (известь по 2,25 г.к.) – фон; внесение на указанном фоне возрастающих доз минеральных удобрений – $N_1P_1K_1$, $N_2P_2K_2$, $N_3P_3K_3$, $N_4P_4K_4$ (соответственно фон + $N_1P_1K_1$, фон + $N_2P_2K_2$, фон + $N_3P_3K_3$, фон + $N_4P_4K_4$). Минимальная доза минеральных удобрений ($N_1P_1K_1$) в 2018 составляла – $N_{32}P_{32}K_{16}$, в 2019 составляла – $N_{16}P_{16}K_{16}$, в 2020 составляла –

N₄₈P₄₈K₄₈, увеличения доз всех элементов на каждом уровне, составлял 16 кг д.в./га, кроме калия в 2018 году, где увеличение составляло 8 кг д.в./га. Минеральные удобрения вносили ежегодно одновременно с предпосевной культивацией. Площадь делянок 255 м², повторность – 4-х кратная.

Определение проводили следующими методами: аммоний колориметрически с реактивом Несслера; нитратный азот и значения рН потенциометрическим; гидролитическую кислотность по методу Каппена; подвижный фосфор и калий по Кирсанову.

Определение проводилось в трехкратной повторности и среднее значение использовали для дальнейшего расчета.

Результаты исследований

Анализ результатов исследований в 2018–2020 гг. позволил установить динамику изменения свойств почвы под воздействием антропогенного фактора. Было отмечено уменьшение подвижного фосфора и калия и накопление минеральных форм азота. Длительное применение возрастающих доз минеральных удобрений на известкованном фоне, а также последствие органического удобрения и известкования, привели к снижению содержания в почве подвижного фосфора на 57,1–77,9% по сравнению с почвами природных экосистем, но способствовали его росту на 29,4–94,1% по сравнению с почвами контрольного варианта (табл. 1).

Наименьшее снижение содержания подвижного фосфора в сравнении с природными почвами было в варианте с тройной дозой минеральных удобрений (фон + N₃P₃K₃) – 3,3 мг/100 г почвы. Почвы природной экосистемы по содержанию обменного калия (31,5 мг/100 г почвы) считаются высокообеспеченные, что позволяет нивелировать отрицательный эффект длительной антропогенной нагрузки, так как скорость восстановления динамического равновесия между формами калия преобладает над темпом потребления растениями (табл. 1). Почвы агроэкосистемы относятся к почвам со средним содержанием калия 1,5–14,5 мг/100 г почвы. В варианте с минимальным количеством вносимых минеральных удобрений (фон+N₁P₁K₁) содержание калия в пахотном слое почвы возрастает до повышенных значений –16,4 мг/100 г почвы.

Таблица 1. Изменение содержания основных питательных веществ за 2018–2020 гг.

Варианты	N-NO ₃ + N-NH ₄ мг/кг				P ₂ O ₅ мг/100 г почвы				K ₂ O мг/100 г почвы			
	2018	2019	2020	сред.	2018	2019	2020	сред.	2018	2019	2020	сред.
Экосистема (лес)	9,4	5,0	5,9	6,8	5,3	10,3	7,6	7,7	33,0	28,2	33,2	31,5
Контроль – б/у	8,7	8,0	9,4	8,7	1,5	1,5	2,2	1,7	12,5	14,3	10,1	12,3
ТФК по 100 т/га	9,8	7,3	10,3	9,1	2,0	2,0	2,6	2,2	13,1	10,6	10,7	11,5
Известь по 2.25 г.к – фон	13,4	12,7	11,2	12,4	2,6	2,4	3,4	2,8	14,2	9,9	15,4	13,2
Фон + N ₁ P ₁ K ₁	12,5	12,4	13,0	12,6	1,2	2,8	3,5	2,5	14,2	18,9	16,0	16,4
Фон + N ₂ P ₂ K ₂	14,0	11,7	15,5	13,7	0,8	3,2	4,0	2,7	13,1	16,9	13,4	14,5
Фон + N ₃ P ₃ K ₃	11,8	10,8	16,3	13,0	1,4	3,9	4,5	3,3	13,9	14,5	11,4	13,3
Фон + N ₄ P ₄ K ₄	10,5	7,8	15,3	11,2	0,8	2,3	3,3	2,1	12,9	12,0	12,1	12,3
НСР ₀₅	0,6	0,4	0,7		0,4	0,7	0,5		0,5	0,9	1,0	

При регулярном внесении минеральных удобрений в стационаре в пахотном слое почвы происходит накопление минеральных форм азота. За период исследований в варианте без применения удобрений содержание минерального азота увеличилось на 1,9 мг/кг по сравнению с почвами природных экосистем. Наибольшее накопление минеральных форм азота отмечено при внесении возрастающих доз минеральных удобрений и не зависело от дозы внесения. Максимальное накопление было в варианте с двойной дозой минеральных удобрений (Фон + N₂P₂K₂) и составило 13,7 мг/кг, что на 101,5% больше, чем в почвах природных экосистем.

Таблица 2. Изменение содержания кислотно-щелочных свойств почвы в годы исследований

Варианты	рН сол.				Нг, мг-экв./100 г почвы			
	2018	2019	2020	сред.	2018	2019	2020	сред.
Экосистема (лес)	5,1	4,7	4,3	4,7	7,1	4,5	3,9	5,2
Контроль – б/у	4,6	4,4	4,3	4,4	5,7	5,0	5,9	5,5
ТФК по 100 т/га	4,2	4,2	4,2	4,2	6,6	6,0	7,5	6,7
Известь по 2.25 г.к – фон	5,0	4,8	4,8	4,9	3,8	5,3	4,5	4,5
Фон + N ₁ P ₁ K ₁	4,6	4,6	4,7	4,6	4,2	4,0	5,5	4,6
Фон + N ₂ P ₂ K ₂	4,7	4,6	4,6	4,6	4,4	4,0	5,8	4,7
Фон + N ₃ P ₃ K ₃	4,7	4,6	4,5	4,6	4,9	4,0	6,6	5,2
Фон + N ₄ P ₄ K ₄	4,8	4,9	4,7	4,8	4,3	3,2	5,7	4,4
НСР ₀₅	0,2	0,2	0,3		0,5	0,4	0,5	

В исследуемых почвах $pH_{\text{сол}}$ изменяется от сильно- до среднекислых значений. В вариантах опыта динамика кислотности по сравнению с почвами природных экосистем незначительна, снижение от 0,3 ед. pH до 0,5 ед. pH наблюдалось в контрольном варианте и в варианте с последствием органических удобрений соответственно. Показатели гидролитической кислотности по сравнению с природными почвами снизились в вариантах с последствием известкования на 0,7 мг-экв./100 г, в вариантах с минеральными удобрениями в следующем порядке: в варианте фон + $N_1P_1K_1$ на 0,6 мг-экв./100 г; фон + $N_2P_2K_2$ – 0,5 мг-экв./100 г; фон + $N_4P_4K_4$ – 0,8 мг-экв./100 г.

Выводы. Наблюдения за трансформацией агрохимических свойств под воздействием антропогенного фактора показали, что динамика подвижного фосфора и калия в агроэкосистеме по сравнению с почвами естественных экосистем отрицательная. Длительная антропогенная нагрузка снизила содержание подвижного фосфора на 4,4–6,0 мг/100 г почвы, обменного калия на 15,1–20,0 мг/100 г почвы, а также привела к подкислению почвы в вариантах без применения минеральных удобрений ($pH_{\text{сол}}$ 4,2–4,4). Содержание минеральных форм азота в почвах агроэкосистем значительно возросло (на 1,9–6,9 мг/кг) по сравнению с природными почвами. В связи с этим для поддержания плодородия почв необходимо восполнять запасы элементов питания и органического вещества путем систематического внесения минеральных и органических удобрений.

Список литературы

1. Зайдельман Ф. Р. Деградация почв как результат антропогенной трансформации их водного режима и защитные мероприятия // Почвоведение. 2009. № 1. С. 93–105.
2. Веремеенко С. И., Фурманец О. А. Изменение агрохимических свойств темно-серой почвы западной лесостепи Украины под влиянием длительного сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 2014. № 5. С. 602–610.
3. Бакина Л. Г., Чугунова М. В., Зайцева Т. Б., Небольсина З. П. Влияние известкования на комплекс почвенных микроорганизмов и гумусное состояние дерново-подзолистой почве в многолетнем опыте // Почвоведение. 2014. № 2. С. 225–234.
4. Голов В. И. Экологические проблемы применения удобрений на Дальнем Востоке // Вестник ДВО АН СССР. 1990. № 2. С. 39–46.
5. Ковшик И. Г., Наумченко Е. Т. Длительное удобрение лугово-черноземовидной почвы и урожайности сои // Земледелие. 2011. № 1. С. 19–20.

6. Кузнецова И. В., Уткаева В. Ф., Бондарев А. Г. Оценка изменения физических свойств пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв нечерноземной зоны России в зависимости от характера антропогенного воздействия // Почвоведение. 2009. № 2. С. 152–162.
7. Уткаева В. Ф., Скворцова Е. Б. Изменение агрофизических свойств пойм при различных антропогенных нагрузках // Почвоведение. 2009. № 2. С. 167–177.
8. Чендев Ю. Г. Антропогенная эволюция серых лесостепных почв южной части среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2011. № 1. С. 3–15.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА В АГРОЦЕНОЗАХ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЕАЛИЗАЦИЮ ПРОДУКТИВНЫХ КАЧЕСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А. Г. Тишкова, Н. Е. Савченко, Е. Г. Афанасьева

ФГБНУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства»

В длительном стационарном опыте изучали состав почвенной микрофлоры и ее влияние на урожайность овса и сои в зависимости от доз минеральных удобрений. При внесении минеральных удобрений повышалась микробиологическая активность почвы и продуктивность овса и сои. Наибольшая урожайность овса в среднем за 2 года получена при внесении максимальной дозы минеральных удобрений – 28,9 ц/га, сои – 29,3 ц/га.

Ключевые слова: почва, ризосферная микрофлора, минеральные удобрения, урожайность, Среднее Приамурье.

THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL STATE OF THE MICROBIAL COMMUNITY IN THE AGROCENOSES OF THE MIDDLE AMUR REGION AND ITS IMPACT ON THE REALIZATION OF PRODUCTIVE QUALITIES OF CROPS

A. G. Tishkova, N. E. Savchenko, E. G. Afanasieva

FAR-East Agricultural Research Institute

Soil microorganisms play an important role in soil fertility and plant nutrition. Inhabited in an environment inhabited by a huge number of different microorganisms, the plant enters into close ties with them and outside these ties does not exist. The microbiological activity of the soil is an environmental and agronomic indicator of anthropogenic impact on it, an important factor in soil fertility, which is closely related to crop yields. The aim of the work was to study the composition of rhizosphere microorganisms and the effect of microbiological activity and various doses of mineral fertilizers on the productivity of oats and soybeans. The research was carried out in 2018–2018. on the margins of stationary experience of the DV NISH, laid sequentially on three fields of field crop rotation in 1963–1965. The scheme of experience included options: control (without fertilizer) and options with minimal and maximum doses of mineral fertilizers. Samples for microbiological analysis were selected in compliance with aseptics. Determining the total number, as well as the quantitative characteristics of the three main groups of microorganisms carried out by sowing on the dense nutrient environments of successive breeding of soil suspension, according to the current methods. In oats crops, the number of ammonifiers increased 1.7 times, the maximum – 2.1 times, in relation to control. The same dynamics can be seen in soybean crops, the number of bacteria increased by 1.5 and 2.1 times. With the introduction of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers, the number of immobilizers increased by 1.5 times and the degree of soil enrichment with microflora (on CAA) increased to rich. The number of micromycetes in oats and soybean crops varied slightly in all variants and averaged 3.35 million COE/1 grams of soil. Our research showed that oats yields were more control over 56.1% when the maximum dose was introduced (option 3). In soybean crops, the maximum dose of fertilizer increased yield by 63.7%, relative to control.

Микробно-растительные взаимодействия являются основой поддержания жизни на планете. Почвенные микроорганизмы играют важную роль в плодородии почвы и питании растений. Обитая в среде, населенной огромным количеством разнообразных микроорганизмов, растение вступает с ними в тесные связи и вне этих связей не существует. Взаимоотношение растений с ризосферной микрофлорой носит характер отдельного симбиотрофизма, то есть они обоюдно полезны и растениям, и микроорганизмам. Микроорганизмы питаются выделениями растений и, размножаясь на корнях, оказывают разностороннее влияние на питание растений, в том числе и на поступление веществ в корни (Гордеева, Масленникова, 2012).

Микробиологическая активность почвы – эколого-агрономический индикатор антропогенного воздействия на нее, важный фактор плодородия почвы, который тесно связан с урожайностью сельскохозяйственных культур (Никульчев, 2020).

Целью работы являлось изучение состава ризосферных микроорганизмов, влияния микробиологической активности и различных доз минеральных удобрений на продуктивность овса и сои.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2018–2019 гг. на полях стационарного опыта ДВ НИИСХ, заложенных последовательно на трех полях полевого севооборота в 1963–1965 гг. Почвы участка лугово-бурые, тяжелосуглинистые, рН солевой вытяжки пахотного слоя 4,2–4,8; содержание гумуса (по Тюрину) – 4,6%; P_2O_5 по Кирсанову – 4,3 мг/100 г почвы; K_2O (по ГОСТ 26207-91) – 20 мг/100 г почвы. В схему опыта включены следующие варианты:

Овес

1. Контроль (без внесения удобрений);
2. $N_{16}P_{16}K_{16}$;
3. $N_{48}P_{48}K_{48}$.

Соя

1. Контроль (без внесения удобрений);
2. $N_{32}P_{32}K_{32}$;
3. $N_{64}P_{64}K_{64}$.

Площадь делянок овса 150 м², сои – 270 м², повторность 4-х кратная.

Пробы для микробиологического анализа отбирали с соблюдением асептики. Определение общей численности, а также количественной характеристики трех основных групп микроорганизмов осуществляли методом посева на плотные питательные среды последовательных разведений почвенной суспензии, согласно действующим методикам (Титова, Козлов, 2011). Использовали следующие питательные среды:

– для учета аммонифицирующих микроорганизмов – мясо-пептонный агар (МПА);

– для учета амилолитической микрофлоры – крахмал-аммиачный агар (КАА);

– для учета численности грибов – среда Чапека.

После посева чашки инкубировались в термостате при температуре +27°C. Подсчет выросших колоний осуществляли на 2...4-е сутки инкубации на МПА, начиная с 4-х суток и по мере разрастания колоний – на КАА и среде Чапека. Осуществляли пересчет количества колоний в чашках Петри в число колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 г абсолютно сухой почвы. Коэффициент минерализации по Мишустину определяли отношением численности микроорганизмов, учтенных посевом на КАА и на МПА. Коэффициент минерализации показывает, что в почве протекают интенсивные процессы минерализации органического вещества, что улучшает минеральное питание растений (Титова, Козлов, 2012). Определяли степень обогащенности почв микроорганизмами по Звягинцеву (Звягинцев и др. 1980).

Учет урожая проводили прямым комбайнированием. Статистическую обработку, полученных данных, проводили методом дисперсионного анализа по Доспехову (Доспехов, 1985).

Результаты исследований. По результатам исследований в почвах экспериментального участка общая численность микроорганизмов в течение вегетации варьировала от 2,86 до 19,82 млн КОЕ/1 г почвы (рис. 1). Максимальная численность микробиома почвы отмечена в посевах овса в фазу выметывания, в посевах сои – в фазу цветения. Аммонифицирующие бактерии, начинающие сложный процесс минерализации органического вещества в наибольшем количестве отмечены в вариантах с внесением минеральных

удобрений. В посевах овса при внесении минимальной дозы численность аммонификаторов увеличилась 1,7 раза, максимальной – 2,1 раза, по отношению к контрольному варианту (без удобрений). Такая же динамика прослеживается в посевах сои, количество бактерий увеличилось в 1,5 и 2,1 раза. По шкале Звягинцева, при внесении элементов минерального питания почвы из категории бедных (в контрольном варианте) стали характеризоваться как средне обогащенные.

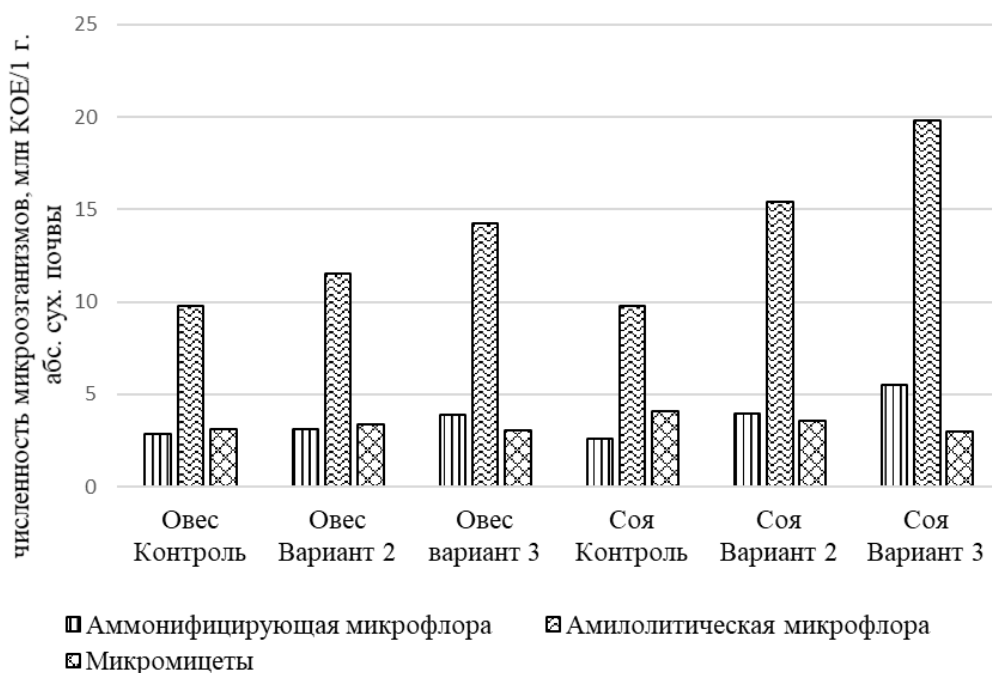


Рис. 1. Численность ризосферной микрофлоры в зависимости от доз минеральных удобрений (среднее за 2018-2019 гг.)

Динамика численности амилитической микрофлоры была аналогичной. По численности микроорганизмов, способных разлагать растительные остатки, почвы в контрольных вариантах характеризовались как средне обогащенные. При внесении азотно-фосфорно-калийных удобрений количество иммобилизаторов возросло в 1,5 раза и степень обогащенности почвы микрофлорой (на КАА) повышалась до богатой.

Численность микромицетов в посевах овса и сои во всех вариантах изменялась незначительно и составила, в среднем, 3,35 млн КОЕ/1 г почвы.

Коэффициенты минерализации во всех исследуемых вариантах были значительно выше единицы, что свидетельствует об активно протекающих процессах минерализации азота.

Таблица 1 – Влияние микробиологической активности и минеральных удобрений на урожайность овса и сои, среднее за 2 года

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка по отношению к контролю, ц/га
Овес		
1. Контроль (без внесения удобрений)	13,2	
2. N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	20,6	7,4
3. N ₄₈ P ₄₈ K ₄₈	28,9	15,7
НСР _{0,5}	6,2	
Соя		
1. Контроль (без внесения удобрений)	17,9	
2. N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂	26,1	8,2
3. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	29,3	11,4
НСР _{0,5}	4,4	

В зависимости от доз минеральных удобрений повышалась не только микробиологическая активность почв, но и продуктивность овса и сои. Наши исследования показали, что урожайность овса при внесении удобрений возросла на 56,1–118,9 %, сои на 45,8–63,9 % по отношению к контролю.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что увеличению численности аммонифицирующей и иммобилизирующей микрофлоры в посевах овса и сои способствовало применение минеральных удобрений, тем самым повышая микробиологическую активность почв и урожайность данных культур.

Список литературы

1. Гордеева Т. Х. Формирование микробно-растительных сообществ ризосферы в онтогенезе зерновых культур / Гордеева Т. Х., Масленникова С.Н. // Научный журнал КубГАУ. 2012. №81 (07). С. 1–10.
2. Никульчев К. А. Влияние культур севооборота на микробиологическую активность, агрофизические свойства почвы и урожайность сои / Никульчев К. А., Банецкая Е. В. // Земледелие. 2020. № 1. С. 11–13.
3. Титова В. И., Козлов А. В. Методы учета численности и биомассы микроорганизмов почвы: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородская с.-х. академия, 2011. 40 с.
4. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: Научно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородская с.-х. академия, 2012. 64 с.
5. Звягинцев Д. Г., Асеева И. В., Бабьева И. П., Мирчинк Т. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учебное пособие для почв, и агрохим. спец. ун-тов и с.-х. вузов. М.: Изд-во МГУ, 1980. 224 с.
6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ И КАЧЕСТВОМ ПОЧВ

И. А. Трофимов¹, Л. С. Трофимова¹, Е. П. Яковлева¹, А. В. Емельянов²,
Е. В. Скрипникова²

¹*ФГБНУ Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии
имени В.Р. Вильямса;*

²*ФГБОУ ВО Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина,
Институт математики, естествознания и информационных технологий*

Управление продуктивностью и качеством почв обеспечивает поддержание экологического равновесия в агроэкосистемах. Соблюдение требований рационального природопользования становится одним из основных условий сохранения и регулирования использования почвенных ресурсов, эффективности сельскохозяйственного производства.

SOIL PRODUCTIVITY AND QUALITY MANAGEMENT

I. A. Trofimov¹, L. S. Trofimova¹, E. P. Yakovleva¹, A. V. Yemelyanov²,
E. V. Skripnikova²

¹*Federal Williams Research Center of forage Production and Agroecology;*

²*Tambov Derzhavin State University, Institute of Mathematics, Natural Sciences and
Information Technologies*

Modern agriculture is characterized by the transition to short-rotation and even monoculture crop rotation, specialization in the cultivation of a limited number of plant species, and the wide distribution of genetically similar varieties and hybrids. At the same time, the traditional agronomic rule, which considers the improvement of soil fertility and the maintenance of ecological equilibrium in agro-ecological systems as a result of crop alternation, is opposed by a man-made approach. Low farming culture and negative nutrient balance in crop rotation are the most important reasons for low yields. According to agricultural chemical services, 35% of arable land has increased acidity, 31% – low humus content, 22% – phosphorus deficiency and 9% – potassium deficiency. The unsustainable use of Russia's agricultural lands in many regions has led to their critical state. The decline in soil fertility at the arable land has reached critical limits. The total withdrawal of the main macro-elements with harvest (NPK) from the rake is 8.5–10 million tons or more for the active substance. Of these, more than half of the total carry-out is in grain crops. At the same time agricultural producers at the expense of mineral fertilizers compensated for withdrawal, only by 25–30%. The leading role in managing soil productivity and quality, biologizing and greening intensification processes in crop production belongs to one-year-old and perennial legumes, as well as legumes. This is due to the fact that with the usual humus losses for the moderate zone under grain crops under conditions of plain relief, which average about 620 kg/ha during the year, about 300 kg/ha can be restored with the help of legumes precursors, i.e. almost half, and within 2 years - completely restored. Soil productivity and quality management ensure the maintenance of ecological balance in agroecosystems. Compliance with the requirements of rational nature management is becoming one of the main conditions for the conservation and regulation of the use of soil resources, the effectiveness of agricultural production.

Сохранение, регулирование и рациональное использование почвенных ресурсов агроэкосистем является важнейшей государственной проблемой. Нерациональное использование сельскохозяйственных земель России во многих регионах привело к их критическому состоянию. Снижение плодородия почв на пашне достигло критических пределов. Совокупный вынос основных макроэлементов с урожаем (NPK) с пашни составляет 8,5–10 млн т и более по действующему веществу. Из них более половины от совокупного выноса приходится на зерновые культуры. При этом сельхозпроизводители за счет минеральных удобрений компенсировали вынос, лишь на 25–30 % (Сычев, 2019; Сычев, Шафран, 2019).

Низкая культура земледелия и отрицательный баланс питательных веществ в севооборотах – важнейшие причины получения низких урожаев. По данным агрохимслужб 35% пахотных земель имеют повышенную кислотность, 31% - низкое содержание гумуса, 22% – недостаток фосфора и 9% – недостаток калия.

По данным МСХ РФ общая посевная площадь в стране уменьшилась более, чем на 40 млн га. Площади посевов под кормовыми культурами в России сократились в 2,5–3 раза, в т. ч. под многолетними травами в ряде регионов – в 8–10 раз. При таком сокращении, даже с учетом снижения поголовья животных, трудно надеяться на высокую и стабильную продуктивность животноводства.

Устойчивое и эффективное сельское хозяйство должно базироваться на максимальном использовании природно-климатических ресурсов, биологических и экологических факторов. При конструировании адаптивных агроэкосистем и агроландшафтов наиболее перспективен эволюционно-аналоговый подход. Организация земледелия, растениеводства и животноводства в агроэкосистемах и агроландшафтах наиболее целесообразна на принципах функционирования естественных экосистем, гармонизации отношений природы и человека (Рекомендации ..., 2003; Жученко, 2009–2011; Всероссийский ..., 2014; Иванов, 2014; Трофимов, Косолапов, Трофимова,

Яковлева, 2015; Косолапов, Трофимов, Бычков, Трофимова, Яковлева, 2016; Рациональное природопользование ..., 2018).

Гармонизация отношений Природы и Человека осуществляется в процессе рационального природопользования в сельском хозяйстве, сбалансированном развитии отечественного растениеводства, животноводства, земледелия, структуры посевных площадей, севооборотов и агроландшафтов. Это необходимо для сохранения продуктивного долголетия сельскохозяйственных земель, агроэкосистем и агроландшафтов.

Адаптивность, биологизация и экологизация сельского хозяйства связаны с многолетними травами и травяными экосистемами, которые являются основными почвообразователями и обеспечивают устойчивость сельскохозяйственных земель к воздействию климата и негативных процессов, защищают их от воздействия стихий (засух, эрозии, дефляции).

Ведущая роль в управлении продуктивностью и качеством почв, биологизации и экологизации интенсификационных процессов в растениеводстве принадлежит однолетним и многолетним бобовым травам, а также зернобобовым культурам. Связано это с тем, что при обычных для умеренной зоны потерях гумуса под зерновыми культурами в условиях равнинного рельефа, составляющих в течение года в среднем около 620 кг/га, с помощью бобовых предшественников может быть восстановлено около 300 кг/га, т. е. почти половина, а в течение двух лет – восстановлено полностью (Кутузова, Трофимова, Олигер, Орленкова, 2000; Трофимова, Кулаков, 2003; Трофимов, Косолапов, Трофимова, Яковлева, 2015).

Травосеяние, так же как и создание сенокосов и пастбищ, обеспечивает наиболее быструю, а значит, и эффективную окупаемость материальных и трудовых затрат. Сидеральный пар (с возделыванием в качестве сидератов многолетних трав) равноценен внесению 10–15 т/га навоза. Важно учитывать и то, что в результате селекции границы некоторых бобовых культур (клевера, люцерны, гороха, пелюшки и др.) продвинулись далеко на север. В целом же при длительном выращивании многолетних бобовых растений энергонасыщенность

почвы за счет накопления гумуса может быть повышена до 200–250 МДж/га (Шпаков, Воловик, 2009, 2012; Трофимов, Трофимова, Яковлева, 2014).

Для современного сельского хозяйства характерны переход к севооборотам с короткой ротацией и даже монокультуре, специализация на возделывании ограниченного числа видов растений, широкое распространение генетически однотипных сортов и гибридов. При этом традиционному агрономическому правилу, рассматривающему повышение плодородия почвы и поддержание экологического равновесия в агроэкосистемах как результат чередования культур, противопоставляется техногенный подход.

В деятельности сельскохозяйственных производителей преобладают не приоритеты устойчивого развития экологически чистого сельского хозяйства и сохранения продуктивного долголетия агроэкосистем, а конъюнктурно-рыночные приоритеты получения быстрой выгоды.

Однако, как показывают многочисленные данные, такой односторонний подход представляет реальную опасность для сохранения природной среды и поддержания экологического равновесия биосферы. Широкое применение пестицидов в результате разрушения механизмов и структуры биоценотической саморегуляции в агроэкосистемах приводит и к появлению более агрессивных и вредоносных популяций патогенов, насекомых и сорняков. Если при монокультуре неизбежна односторонняя утилизация элементов минерального питания, то при адаптивном чередовании культивируемых видов растений в продукционный процесс вовлекаются элементы питания разных горизонтов почвы, в т.ч. труднодоступные (Шпаков, Воловик, 2009, 2012; Трофимов, Трофимова, Яковлева, 2014; Емельянов и др., 2015; Скрипникова, Емельянов, Скрипникова, 2017).

Так, посевы бобово-злаковых (клеверо-тимофеечных) смесей более равномерно используют всю толщу почвы и подпочвы, люпин и гречиха значительно повышают растворимость фосфоритов. Особенно велика роль предшественников на бедных почвах. Так, только за счет возделывания клевера

запасы фиксированного азота в почве за два года могут пополниться на 160–180 кг/га, люцерны – на 250–300, люпина – на 240, донника – на 150.

Агроэкосистемы и агроландшафты в настоящее время занимают уже 37% суши Земли и нормирование их химико-техногенного влияния на биосферу играет первостепенную роль в сохранении ее экологического равновесия.

Важнейшими составляющими адаптивной интенсификации сельского хозяйства являются сохранение и даже увеличение биоразнообразия естественных и антропогенных экосистем, а также механизмов и структур биоценотической саморегуляции при повышении их продукционных (и особенно фотосинтетических), а также средоулучшающих функций; оптимизация и усиление адаптивного соотношения, расположения и чередования площадей сельскохозяйственных угодий (пашни, лугов и пастбищ), лесов, водоемов, природных заповедников и заказников с учетом особенностей почвы, климата, погоды, рельефа, конструирования высокопродуктивных, экологически устойчивых и эстетичных агроэкосистем и агроландшафтов будущего.

Сельское хозяйство должно обеспечивать поддержание экологического равновесия в агроландшафтных системах. Соблюдение требований рационального природопользования становится одним из основных условий сохранения и регулирования использования почвенных ресурсов, эффективности сельскохозяйственного производства.

Список литературы

1. Всероссийский научно-исследовательский институт кормов имени В. Р. Вильямса на службе российской науке и практике / Под ред. В. М. Косолапова, И. А. Трофимова. – М.: Россельхозакадемия, 2014. – 1031 с.

Емельянов А. В., Скрипникова Е. В., Гусев А. А., Фролова Е. М., Киреев А. А., Суздальцева О. Н. Природоохранные биотехнологии в научной деятельности ТГУ имени Г. Р. Державина // Проектная культура и качество жизни. 2015. № 1. С. 628–631.

3. Жученко А. А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии. Теория и практика. В 2-х томах. – М.: Изд-во Агрорус, 2009–2011. Т. I. 816 с., Т. II. 624 с.

4. Иванов А. Л. Научное земледелие России: итоги и перспективы // Земледелие. 2014. № 3. С. 25–29.

5. Косолапов В. М., Трофимов И. А., Бычков Г. Н., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Кормопроизводство, рациональное природопользование и агроэкология // Кормопроизводство. 2016. № 8. С. 3–8.
6. Кутузова А. А., Трофимова Л. С., Олигер М. А., Орленкова Е. К. Продуктивность долголетних сенокосов при разных системах ведения // Кормопроизводство. 2000. № 5. С. 11–15.
7. Рациональное природопользование и кормопроизводство в сельском хозяйстве России / Косолапов В. М., Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса. – М.: РАН, 2018. – 132 с.
8. Рекомендации по созданию продуктивных и устойчивых агроландшафтов / Шпаков А. С., Трофимов И. А., Кутузова А. А., Зотов А. А., Харьков Г. Д., Прологова Т. В., Тебердиев Д. М., Трофимова Л. С., Лебедева Т. М., Яковлева Е. П., Благовещенский Г. В., Штырхунов В. Д. – М.: Россельхозакадемия, 2003. – 44 с.
9. Скрипникова Е. В., Емельянов А. В., Скрипникова М. К. Применение микробных консорциумов для деструкции органических отходов / В сборнике: Биотехнология: состояние и перспективы развития. Материалы IX международного конгресса. 2017. С. 108–110.
10. Сычѳв В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: Российская академия наук, 2019. 328 с.
11. Сычев В. Г., Шафран С. А. Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений // Плодородие. 2019. № 2 (107). С. 22–25.
12. Трофимов И. А., Косолапов В. М., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Пути повышения эффективности возделывания отечественных сортов и технологий в агроландшафтах юга России // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 54. С. 305–309.
13. Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. «Тихий кризис» агроландшафтов Центрального Черноземья // Земледелие. 2014. № 1. С. 3–6.
14. Трофимова Л. С., Кулаков В. А. Современное экспериментальное обоснование развития дернового процесса на лугах // Кормопроизводство. 2003. № 11. С. 11–14.
15. Шпаков А. С., Воловик В. Т. Основные факторы продуктивности кормовых культур // Кормопроизводство. 2012. № 6. С. 17–19.
16. Шпаков А. С., Воловик В. Т. Развитие полевого кормопроизводства в России // Земледелие. 2009. № 6. С. 22–24.

ПРОДУКТИВНОСТЬ, АГРОМЕЛИОРАТИВНОЕ И ФИТОСАНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬ

Л. С. Трофимова

*ФГБНУ Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии
имени В.Р. Вильямса*

Приоритетом научно-технологического развития страны является переход к высокопродуктивному и экологически чистому сельскому хозяйству. Он достигается путем биологизации и экологизации с целью сбалансировать сельскохозяйственную деятельность с возможностями Природы, повысить продуктивность, улучшить агромелиоративное и фитосанитарное состояние земель.

PRODUCTIVITY, AGROMELIORATIVE AND PHYTOSANITARY CONDITION OF LAND

L. S. Trofimova

Federal Williams Research Center of forage Production and Agroecology

The priority of scientific and technological development of the country is the transition to highly productive and environmentally friendly agriculture. It is achieved through biology and greening in order to balance agricultural activities with the capabilities of Nature, increase productivity, improve the agro-reclamation and phytosanitary condition of the land. Currently, agriculture is dominated by a quick-benefit economy aimed at generating high incomes. Violation of laws of balance with Nature, crop rotation, excessive chemization, intensification of agricultural production contribute to the development of erosion and soil depletion. There is a dangerous distortion towards the satisfaction of economic interests at the expense of environmental and social. This is destructive to Nature and depleting to natural resources. Intensification of agricultural production with a focus on grains, grain monocultures and pure vapors plays a significant role in strengthening erosion processes. They bare the soil, weaken the soil protection and erosion properties of agroecosystems. There are few protective ecosystems in the agrolandscapes structure. In the structure of sown areas - they are practically absent. Economically attractive crops (wheat, sunflower) prevail. Fodder production, the largest, multifunctional, system-forming and connecting branch of agriculture, largely determines the state of animal husbandry and has a significant impact on solving key problems of further development of the entire branch of crop production, agriculture, rational environmental management, increasing the stability of agroecosystems and agrolandscapes to climate and negative processes. Agriculture should ensure the efficiency and sustainability of agricultural production, the productive longevity of agricultural land and agrolandscapes, and the preservation of soil fertility. It should be based on the diversity of productive and protective ecosystems, the diversity of crops that maintain a balanced interaction with Nature. The use of unique biological and environmental patterns, the creation of new high-yielding varieties of crops adapted to specific cultivation conditions, and new technologies will solve the problems faced by agricultural production. The study of biological, ecological, geographical patterns, the development of efficient environmentally safe energy-saving technologies for the production, harvesting and use of feed, rational environmental management, ecology and environmental protection in agriculture, ensuring the preservation of soil fertility, sustainability and productive longevity of agricultural lands and agrolandscapes in Russia should be carried out through interdisciplinary integrated studies.

Приоритетом научно-технологического развития России является переход к высокопродуктивному и экологически чистому сельскому хозяйству – основы основ продовольственной, экологической и национальной безопасности России, движителю ее экономики. Это обеспечивается путем биологизации и экологизации с целью сбалансировать сельскохозяйственную деятельность с возможностями Природы, повысить продуктивность, улучшить агроландшафтное и фитосанитарное состояние земель и нашу среду обитания.

Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса создан с целью обеспечения проведения прорывных фундаментальных, приоритетных прикладных исследований и практических разработок по направлениям, являющимся стратегически важными для страны. Программа развития Центра ориентирована на приоритеты и вызовы для общества, государства и науки, которые включены в Стратегию научно-технологического развития нашей страны в ближайшей (10–15 лет) и долгосрочной перспективе.

В Стратегии научно-технологического развития нашей страны указаны следующие большие вызовы для общества, государства и науки, имеющие отношение к сельскому хозяйству: «возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан; потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе» (Стратегия ..., 2016).

«В ближайшие 10–15 лет приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации следует считать в том числе: 1) переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, 2) возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы... В долгосрочной перспективе (в том числе и после 2030 года) особую актуальность приобретают исследования в области понимания процессов, происходящих в обществе и природе, развития

природоподобных технологий, человеко-машинных систем, управления климатом и экосистемами» (Стратегия ..., 2016).

Сельское хозяйство дает человеку пищу, другие ресурсы, но вместе с тем разрушает землю, саму основу сельскохозяйственного производства и основу нашей среды обитания. Решение проблемы обеспечения продовольственной и экологической безопасности России должно базироваться на максимальном использовании природно-климатических ресурсов, биологических и экологических факторов (Жученко, 2009–2011; Трофимов, Трофимова, Яковлева, 2013, 2014; Трофимов, Косолапов, Трофимова, Яковлева, 2015).

Кормопроизводство, самая масштабная, многофункциональная, системообразующая и связующая отрасль сельского хозяйства, во многом определяет состояние животноводства и оказывает существенное влияние на решение ключевых проблем дальнейшего развития всей отрасли растениеводства, земледелия, рационального природопользования, повышения устойчивости агроэкосистем и агроландшафтов к воздействию климата и негативных процессов, сохранения ценных сельскохозяйственных угодий и воспроизводства плодородия почв, улучшения экологического состояния территории и охраны окружающей среды (Кутузова, Трофимова., Олигер, Орленкова, 2000; Рекомендации ..., 2003; Трофимова, Кулаков, 2003; Рациональное природопользование ..., 2018).

Кормопроизводство объединяет, связывает в единую систему все отрасли сельского хозяйства и даёт огромные преимущества их развитию. Животноводству оно даёт корма, растениеводству – продуктивность всех культур, земледелию – плодородие почв, сельскохозяйственным землям – продуктивность и устойчивость. Оно также обеспечивает эффективное управление сельскохозяйственными землями и рациональное природопользование, поддерживает в сельском хозяйстве необходимый баланс отраслей.

Многолетнее взаимодействие Человека и Природы в процессе сельскохозяйственной деятельности показали, что идет тихий кризис планеты, деградация сельскохозяйственных земель, снижение устойчивости агроландшафтов, плодородия почв. За всю историю сельского хозяйства Потери

сельскохозяйственных земель в мире составили 2,5 млрд. га. Сегодня мы используем 1,5 млрд. га. За последние 100–120 лет потеряно 50 % плодородия почв (Жученко, 2009–2011; Трофимов, Трофимова, Яковлева, 2013, 2014; Рациональное природопользование ..., 2018).

В сельском хозяйстве преобладает экономика быстрой выгоды, направленная на получение высоких доходов. Нарушение законов сбалансированности с Природой, севооборотов, чрезмерная химизация, интенсификация сельскохозяйственного производства способствуют развитию эрозии и истощению почв. Происходит опасный перекокс в сторону удовлетворения экономических интересов в ущерб экологическим и социальным. Это является разрушительным для Природы и истощительным для природных ресурсов.

Существенную роль в усилении эрозионных процессов играет интенсификация сельскохозяйственного производства с ориентацией на пропашные, зерновые монокультуры и чистые пары. Они оголяют почву, ослабляют почвозащитные и противоэрозионные свойства агроэкосистем. В структуре агроландшафтов – мало защитных экосистем. В структуре посевных площадей – их практически нет. Преобладают экономически привлекательные культуры (пшеница, подсолнечник), востребованные на рынке (Трофимов, Трофимова, Яковлева, 2014; Рациональное природопользование ..., 2018).

Экономика быстрых выгод не учитывает влияния сельского хозяйства на экологическое состояние земель, деградацию агроландшафтов, снижение плодородия почв, ведет к разрушению земель и среды обитания, снижению качества продукции.

Нарушена сбалансированность сельского хозяйства (растениеводства, животноводства, земледелия). Нарушена сбалансированность структуры агроландшафтов, посевных площадей и севооборотов. Из них исчезают защитные экосистемы – многолетние травы, луга, леса. Нарушена сбалансированность растениеводства и животноводства. Доля многолетних трав в структуре посевных площадей уменьшилась в 8–10 раз (Трофимов, Трофимова, Яковлева, 2014; Рациональное природопользование ..., 2018).

Сельскохозяйственную деятельность необходимо привести в соответствие с возможностями и выносливостью природы (Иванов, 2014; Косолапов, Трофимов, Бычков, Трофимова, Яковлева, 2016; Рациональное природопользование ..., 2018; Сычёв, 2019).

Приоритетом научно-технологического развития страны является переход к высокопродуктивному и экологически чистому сельскому хозяйству, которое достигается путем биологизации и экологизации с целью:

- приблизить Человека к Природе,
- к экологически чистым, естественным, здоровым продуктам питания,
- сбалансировать сельскохозяйственную деятельность с возможностями Природы,
- сделать здоровой землю, среду обитания и пищу человека и животных,
- обеспечить условия для сохранения здоровья земли – здоровой продукции – здорового населения,
- создать экономику рационального природопользования, социально и экологически ориентированную,
- обеспечить сохранение земель, агроландшафтов, биосферы,
- повышение качества продукции,
- сохранение здоровья и жизни населения.

Сельское хозяйство должно обеспечивать эффективность и устойчивость сельскохозяйственного производства, продуктивное долголетие сельскохозяйственных земель и агроландшафтов, сохранение плодородия почв. Оно должно опираться на разнообразие продуктивных и защитных экосистем, разнообразие культур, поддерживающих сбалансированное взаимодействие с Природой.

Использование уникальных биологических и экологических закономерностей, создание новых высокоурожайных сортов сельскохозяйственных культур, адаптированных к конкретным условиям возделывания, и новые технологии позволят решать проблемы, возникающие перед сельскохозяйственным производством.

Работа предстоит долгосрочная – на многие годы. Но откладывать на потом уже невозможно. Только тогда мы сделаем свое сельское хозяйство

сбалансированным, эффективным и устойчивым, обеспечим сельскохозяйственным землям продуктивное долголетие.

Изучение биологических, экологических, географических закономерностей, разработку эффективных экологически безопасных энергосберегающих технологий производства, заготовки и использования кормов, рационального природопользования, экологии и охраны окружающей среды в сельском хозяйстве, обеспечении сохранения плодородия почв, устойчивости и продуктивного долголетия сельскохозяйственных земель и агроландшафтов в России необходимо осуществлять путем междисциплинарных комплексных исследований.

Библиографический список

1. Жученко А.А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии. Теория и практика. В 2-х томах. – М.: Изд-во Агрорус, 2009–2011. Т. I. 816 с., Т. II. 624 с.
2. Иванов А. Л. Научное земледелие России: итоги и перспективы // Земледелие. 2014. № 3. С. 25–29.
3. Косолапов В.М., Трофимов И.А., Бычков Г.Н., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Кормопроизводство, рациональное природопользование и агроэкология // Кормопроизводство. 2016. № 8. С. 3–8.
4. Кутузова А.А., Трофимова Л.С., Олигер М.А., Орленкова Е.К. Продуктивность долголетних сенокосов при разных системах ведения // Кормопроизводство. 2000. № 5. С. 11–15.
5. Рациональное природопользование и кормопроизводство в сельском хозяйстве России / Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса. М.: РАН, 2018. 132 с.
6. Рекомендации по созданию продуктивных и устойчивых агроландшафтов / Шпаков А.С., Трофимов И.А., Кутузова А.А., Зотов А.А., Харьков Г.Д., Прологова Т.В., Тебердиев Д.М., Трофимова Л.С., Лебедева Т.М., Яковлева Е.П., Благовещенский Г.В., Штырхунов В.Д. М.: Россельхозакадемия, 2003. 44 с.
7. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642.
8. Сычёв В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования М.: Российская академия наук, 2019. 328 с.
9. Трофимов И.А., Косолапов В.М., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Пути повышения эффективности возделывания отечественных сортов и технологий в агроландшафтах юга России // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 54. С. 305–309.
10. Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. «Тихий кризис» агроландшафтов Центрального Черноземья // Земледелие. 2014. № 1. С. 3–6.
11. Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Агроландшафтно-экологическое районирование кормовых угодий Волго-Вятского природно-экономического района России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2013. № 2 (33). С. 39–42.
12. Трофимова Л.С., Кулаков В.А. Современное экспериментальное обоснование развития дернового процесса на лугах // Кормопроизводство. 2003. № 11. С. 11–14.

КАЧЕСТВО ПОЧВ КАК АСПЕКТ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ В СООТВЕТСТВИИ С РОССИЙСКИМИ ЗЕЛЕНЫМИ СТАНДАРТАМИ

А. В. Туранова

*Коломенский институт (филиал) Московского политехнического
университета*

Отмечается, что в настоящее время идет бурное развитие строительства, при реализации которого всегда возникает необходимость проведения мелиоративных работ и изысканий, такие как техническая мелиорация грунтов, осушение (дренаж), ландшафтное орошение, воссоздание почвенно-растительного слоя и др. Отмечается, что девелоперам, крупным и малым застройщикам, формально соблюдающим требования природоохранного федерального и регионального законодательства, положения Ростехнадзора, не всегда понятно экологическое значение охраны почвенного ландшафта. Целью данной работы является обзор государственных стандартов и нормативных правовых актов на предмет необходимости изучения свойств почв в строительной деятельности. В статье рассматриваются вопросы необходимости охраны почв при возведении зданий или сооружений, а также требования к качеству почв при экологической оценке инвестиционных строительных проектов.

Введение. Грунтовая среда является неотъемлемой частью строительного процесса при создании оснований для различных зданий и сооружений (Пилягин, 2015). Поскольку строительные материалы, из которых возводятся несущие опорные конструкции (в первую очередь фундаменты и др. подземные части), контактируют с грунтом, то на всех этапах жизненного цикла проекта возникает необходимость оценки его физических и химических свойств. Стоит отметить особенность определения термина «грунт» в системе нормативно-правовой документации и академической среде. В соответствии с ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» в понятие грунта также включены *почвы*. С другой стороны, существующий ГОСТ 27593-88 «Почвы. Термины и определения» включает более «академическую» формулировку термина «*почва*». Вместе с этим практическая деятельность строителя как антропогенный экологический фактор, очевидно, также требует изучения почв в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью. Поэтому *целью* данной работы является обзор государственных стандартов и нормативных правовых актов на предмет необходимости изучения свойств почв в строительной деятельности.

В настоящее время идет бурное развитие строительства (Владимиров, 2015), при реализации которого всегда возникает необходимость проведения

мелиоративных работ и изысканий, такие как техническая мелиорация грунтов, осушение (дренаж), ландшафтное орошение, воссоздание почвенно-растительного слоя и др. Почва является динамической системой постоянно взаимодействующих между собой компонентов, причем скорости и интенсивности этих взаимодействий могут меняться в результате изменения состояния (свойств) почв. Для строительной деятельности наибольшую значимость имеет вопрос технической мелиорации, так как входящие в состав почвы химические вещества в виде анионов и катионов чаще всего при определенном физическом состоянии почвы (температура, влажность и др.) имеют способность вступать в химическое взаимодействие (реакции) с веществами, из которых изготавливаются строительные конструкции. В этом случае говорят об *агрессивности* среды, в которой работают строительные конструкции. Из-за нехватки информации и пренебрежения изысканиями происходят агрессивные воздействия на строительный материал. Сбор данных по химическому составу, типу и физическим свойствам грунтов поможет зданиям и сооружениям предотвратить последствия воздействия агрессивных сред, прежде всего путем подбора правильной композиции материалов. Кроме того, очевидно важной задачей строителя является воссоздание почвенного покрова, нарушенного в результате реализации инвестиционного проекта. В этом случае ущерб напрямую зависит от масштабов воздействия (мощности почвенно-растительного слоя, площади и др.).

Основные положения вопроса. Почва является одним из важнейших природных ресурсов Земли. Сложно дать оценку «возобновляемости» данного ресурса. При аккуратном использовании почва может не только сохраняться, но и улучшать свое главное свойство – плодородие, которое в основном определяется содержанием органического вещества (гумусом) и элементами питания растений.

Девелоперы, крупные и малые застройщики стараются соблюдать требования природоохранного федерального и регионального законодательства, положения Ростехнадзора (Исмаилова, 2016; Пименова и др., 2016). В частности, действует норматив ГОСТ 17.4.3.02-85, регламентирующий мощность снимаемого плодородного и потенциально плодородного слоев почвы и

хранение этого слоя. Однако, за соблюдением формальных (нормативных) аспектов сбережения окружающей среды, все еще для многих застройщиков неясны экологическое значение охраны почвенного ландшафта. Почему необходимо охранять почву при возведении зданий или сооружений? Необходимо выделить следующие негативные последствия нерационального использования почв:

эрозия – это процесс разрушения почвенного покрова; бывает двух видов: природная (ветровая (Кузнецов, Глазунов, 2020), когда потоки ветра уносят за собой плодородный слой почвы, и она становится не пригодной для использования; водная (Гурбанов и др., 2017) при воздействии поверхностного стока и смывания плодородного слоя грунта вода со склонов) и антропогенная (из-за человеческого вмешательства в следствии неправильного ведения инженерной и хозяйственной деятельности);

загрязнение промышленное, транспортное, сельскохозяйственное, строительное, бытовое и др. (Усманов, 2017; Винокуров, 2019);

отвод под строительство – неправильное определение местности под различные здания и сооружения, в результате которого могут развиваться различные последствия (уничтожение почв (Кулик, 2019), в том числе уникальных и ценных для хозяйства или геосистемы; изменение гидрогеологического режима территории может вызвать динамические процессы, в том числе оползни, эрозию и др. (Смелова, 2018; Зверьков, 2020); отсутствие достаточного объема инженерно-геологических, почвенных и экологических изысканий, позволяющих определить тип химического состава, засоления и др. свойства, которые могут влиять на безопасность строительных конструкций).

Почвенные среды, являющиеся с точки зрения ГОСТ 25100-2011 грунтами, обладают агрессивностью. Одним из главных компонентов почвы является вода, химический состав которой очень разнообразный (Туранова, 2019). В зависимости от природных условий, экологических факторов, видах воздействия состав этого компонента геосистемы, ее морфологические и др. свойства будут меняться, например, вблизи промышленных зданий и транспортной инфраструктуры состав почвы будет отличен от фоновых показателей,

характерных для данных условий, что потребует их ремедиации и очистки почв (Мойсейчик, 2020). Вблизи водоемов и рек (в условиях гидрогеологического подтопления территории) химический состав почвенных и грунтовых вод может пагубно отразиться на зданиях, так как анионы и катионы, находящиеся в жидкой фазе почвы, могут вызвать агрессивное влияние на конструкцию сооружения.

В связи с последним проектировщики оснований всегда учитывают тип гранулометрического состава и физические свойства грунтов: пористость, капиллярность, влагоемкость, химический состав. В частности, при определении наименования гранулометрического состава пользуются ГОСТ 25100-2011 или унифицированными треугольниками Ферре (Туранова, 2019). Последние также могут использоваться для определения химического засоления почв и наименования состава природных вод (Туранова, 2019). Ежегодный анализ и систематические наблюдения помогут снизить риск загрязнения почв и может предсказать пагубные влияние на эксплуатацию сооружения.

В целом можно выделить следующие регламентирующие охрану почв в России нормативные документы:

- Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 N 136-ФЗ;
- ГОСТ 17.4.3.02-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ;
- ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб;
- ГОСТ 17.4.4.01-84 Охрана природы. Почвы. Методы определения емкости катионного обмена;
- ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа;
- ГОСТ Р 54964-2012 Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости.

Качество почв при оценке объектов недвижимости. В России растет популярность «зеленых стандартов» в строительстве (Махортова и др., 2020). Основным нормативным документом при оценке соответствия объектов недвижимости экологическим требованиям является ГОСТ Р 54964-2012.

Согласно его положениям, необходимо выполнять следующие условия, чтобы не снизить потребительской стоимости проекта (ГОСТ Р 54964-2012):

– при выборе участка под строительство участка под строительство провести анализ на загрязнения почвы и водных источников (см. п. 2.1);

– для предотвращения нарушения естественных гидрогеологических условий необходимо сократить площадь водонепроницаемой поверхности и улучшить инфильтрацию почвы (см. п. 6.5);

– мероприятия по защите и восстановлению окружающей среды в процессе строительства путем складирования слоя с его последующем применением на участке, свободном от застройки, восстановление участка с использованием плодородной почвы (см. п. 8.3).

Такой узкий набор контролируемых параметров обусловлен, с одной стороны, сложностью такого контроля, а с другой, превалированием в экологических требованиях оценки технических составляющих проекта и решением застройщиков часто других инженерных задач. Отсутствие требований к оценке типа почв, их бонитета, геосистемной важности, требований реализации мелиоративных мероприятий, оценке агрессивности почвенных сред по отношению к строительным конструкциям и технических мероприятий защиты строительных конструкций и др. можно отнести к недостаткам данного нормативного документа.

Основные выводы. На основании проведенного анализа нормативных документов можно сделать следующие выводы. Оценка объектов недвижимости по экологическим требованиям дополнительно должна включать определение типа почв и систематическую проверку агрессивности почвенных сред к конструкциям здания в целях избегания негативных последствий и повышения долговечности конструкции, поскольку оценка рисков в управлении проектами позволяет их предупредить и снизить вероятность их возникновения, а следовательно такая оценка позволит повысить безопасную эксплуатацию сооружения (снизить затраты на ремонтные работы, произвести стоимостную переоценку объекта или инвестиционного проекта).

Список литературы

1. Владимиров С.Н. Архитектурно-планировочные решения при строительстве промышленных и гражданских зданий в условиях юга России // Экология и строительство. 2015. № 2. С. 13-18.
2. Винокуров К.И., Крестьянинова А.Ю. Локальные очистные сооружения поверхностного стока на автомобильных дорогах и мостовых переходах // Экология и строительство. 2019. № 4. С. 42–52. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-04-005.
3. Гурбанов Э.А., Вердиев С.Б., Газиева П.Ч. Интенсивность овражной эрозии в аридных условиях на третичном плато Азербайджанской республики // Экология и строительство. 2017. № 4. С. 8–15.
4. Зверьков М.С., Смелова С.С. Ретроспективный анализ эффективности мелиоративного обустройства склона после обрушения по схеме асеквентного малого оползня // Природообустройство. 2020. № 3. С. 28–35.
5. Исмаилова Ш.В.К. Экологический контроль в строительстве // Экология и строительство. 2016. № 3. С. 10–14.
6. Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв : учебник для вузов / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов; 3-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2020. 387 с.
7. Кулик К.Н., Семененко С.Я., Марченко С.С., Арьков Д.П., Кошелев А.В., Морозова Н.В. Возможности георадарного обследования состояния несанкционированного полигона бытовых отходов // Экология и строительство. 2019. № 4. С. 4–3. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-04-001.
8. Махортова Я.И., Разаков М.А., Трофимова И.В. Экологическое строительство зданий и сооружений // Экология и строительство. 2020. № 2. С. 27–35. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-02-004.
9. Мойсейчик Е.А., Ботян Е.А. Происхождение и классификация отходов демонтажа и строительства // Экология и строительство. 2020. № 2. С. 17-26. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-02-003.
10. Пилягин А.В. Напряженно-деформированное состояние оснований фундаментов различной формы с использованием решения Кельвина // Экология и строительство. 2015. № 4. С. 4–6.
11. Пименова С.А., Русалович О.А., Соколова О.В. Основные аспекты методологии развития муниципальных строительных площадок с учетом эколого-экономических факторов // Экология и строительство. 2016. № 4. С. 42–45.
12. Смелова С.С., Захарченко Ю.Ю. Геоморфология «Протопоповского» оползня в долине реки Оки (на территории города Коломны Московской области) // Экология и строительство. 2018. № 4. С. 11-17. DOI: 10.24411/2413-8452-2018-10015.
13. Туранова А.В. Использование треугольников Ферре для анализа природных вод в практике гидротехнического, мелиоративного и дорожного строительства // Вестник мелиоративной науки. 2019. № 2. С. 43–49.
14. Туранова А.В. Задачи исследования гранулометрического состава для целей технической мелиорации грунтов // Вестник мелиоративной науки. 2019. № 2. С. 9–15.
15. Туранова А.В. Оценка агрессивности сред водных объектов по отношению к гидротехническим и дорожным сооружениям на основании данных химического анализа // Вестник мелиоративной науки. 2019. № 3. С. 43–50.
16. Усманов И.А., Хасанова М.И. К вопросу инвентаризации, классификации и обезвреживания промышленных отходов территориально-промышленных комплексов в условиях Узбекистана // Экология и строительство. 2017. № 4. С. 4–7.

ВЛИЯНИЕ БОБОВЫХ КУЛЬТУР НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В РАЗЛИЧНЫХ СЕВООБОРОТАХ

В. И. Турусов, О. А. Богатых, Н. В. Дронова
*Научно-исследовательский институт сельского хозяйства
Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева,
E-mail: niish1c@mail.ru*

Проведенные исследования структурно-агрегатного состояния в различных видах севооборотов позволяют нам установить некоторые определенные закономерности в изменении качественных характеристик сложения корнеобитаемого слоя и вклада каждой фракции в формирование агрономически ценной структуры.

IMPACT OF LEGUMES ON SOIL QUALITY INDICATORS AND WINTER WHEAT PRODUCTIVITY IN VARIOUS CROP ROTATIONS

V. I. Turusov, O. A. Bogatykh, N. V. Dronova
*Scientific research institute of agriculture Central Chozozem zone named after
V.V. Dokuchaev,
E-mail: niish1c@mail.ru*

Structurally-aggregate state studies conducted in various types of crop rotation allow to establish certain definite patterns in changing qualitative characteristics of addition of root layer and contribution of each fraction of formation an agronomical valuable structure.

Интенсивное антропогенное воздействие, его характер и механизм обуславливают высокую динамичность изменения свойств почв, сложность регулирования основополагающих показателей плодородия и, прежде всего, агрофизических характеристик пахотного слоя почвы. Ухудшения свойств почвы обусловлены разнообразными антропогенными воздействиями на нее, пестротой и разнообразием почвенного покрова (Чевердин, 2008). Это требует всестороннего дальнейшего углубленного изучения наиболее динамичных характеристик физики почв, а также агрохимических показателей в полевых севооборотах на основе расширения доли участия бобовых культур.

Исследования проводились в многолетнем стационарном опыте лаборатории эколого-ландшафтных севооборотов с озимой пшеницей по следующим предшественникам: в зернопаропропашном севообороте – по черному пару, в зернопропашном севообороте – по гороху, в

зернопаропропашном севообороте – по эспарцету на сидерат, в зернопропашном севообороте – по нуту, в зернотравянопропашном севообороте – по сое, в зернотравянопропашном севообороте – по эспарцету на сено. Опыт закладывался в трехкратной повторности.

Возделывание сельскохозяйственных культур в опыте осуществлялось по общепринятым технологиям.

Значение физических свойств почвы для ее плодородия никогда не подвергалось сомнению. В настоящее время в условиях ускоренной интенсификации земледелия, с увеличением антропогенных нагрузок на почву, все острее встает проблема деградации физических свойств почв, а в связи с этим и проблема сохранения и восстановления условий плодородия (Боронтов, 2010). Возделываемые в зоне полевые культуры весьма разнообразны и по различному влияют на физические свойства почвы. Плотность сложения – важный показатель, характеризующий окультуренность почвы. При избыточном уплотнении уменьшается объем некапиллярных пор, что приводит к ухудшению воздушного режима почвы (Джумшудов, 1993). Плотность сложения почвы в течение вегетационного периода озимой пшеницы во всех вариантах находилась в оптимальном диапазоне и мало изменялась в зависимости от предшественника (табл. 1).

Объемная масса почвы в течение вегетационного периода почти по всем изучаемым вариантам находилась в оптимальном диапазоне значений от 1,00 до 1,02 г/см³. Следует отметить, что использование бинарного посева с озимой викой и сидеральных паров способствовало достоверному разуплотнению почвы, плотность которой уменьшилась до 0,83 г/см³ в бинарном посеве. Следовательно, в этих вариантах сложились лучшие условия для влаго- и воздухопроницаемости. Изменения твердости почвы в зависимости от предшественников озимой пшеницы в 0–25 см слое почвы были менее заметны и варьировали в пределах от 11,0 кг/см² после сидерального эспарцетового пара, и до 12,9 кг/см² после черного пара.

Таблица 1 – Структурно-агрегатный состав почвы под озимой пшеницей в зависимости от предшественников (2014–2019 гг.)

Предшественники	Плотность сложения в слое почвы 0–40 см, г/см ³	Твердость в слое почвы 0–25 см, кг/см ²	Количество агрегатов при сухом просеивании (%), размером (мм)			Коэффициент структурности, %
			< 0,25	0,25–10	> 10	
Черный пар	1,00	12,9	1,8	75,0	23,2	4,0
Горох	1,00	12,8	1,3	82,9	15,8	6,4
Нут	1,02	12,4	1,4	80,6	18,0	4,8
Соя	1,01	12,6	1,3	79,5	19,2	5,1
Сидеральный пар: эспарцетовый	0,99	11,0	1,2	83,5	15,3	6,5
Эспарцет на сено	1,00	11,8	1,5	83,2	15,3	6,3
НСР ₀₅	0,04	0,3	0,4	0,8	0,9	

Характер структурно-агрегатного состава почвы в значительной мере влияет на соотношение капиллярной и некапиллярной скважности, что очень важно для нормальной жизнедеятельности корневой системы и, в частности, дыхания.

Агрономически ценными являются частицы почвы размером от 0,25 мм до 10 мм. Частицы меньше 0,25 мм являются пылевидной фракцией, а более 10 мм – глыбистой. Структура почвы является качественной в том случае, когда количество агрономически ценных частиц больше суммарной массы пылевидной и глыбистой фракций.

Результаты сухого просеивания образцов почвы в среднем за вегетацию показали, что структурный состав чернозема обыкновенного под озимой пшеницей зависит от вида севооборота и предшествующей культуры. Так размещение в севооборотах бобового компонента позволило увеличить коэффициент структурности по сравнению с черным паром. Наибольшее его значение отмечено в севооборотах с эспарцетом и бинарным посевом (6,4–7,4% соответственно). Рассматривая динамику содержания различных фракций почвенных агрегатов, можно отметить, что под озимой пшеницей, размещенной после эспарцета, отмечается наибольшее содержание структурных агрегатов (83,5%) в слое почвы 0–40 см, а доля глыбистой фракции находится в минимуме.

Это связано с наиболее сильным оструктуривающим влиянием на почву, которое оказывает многолетняя травянистая растительность, формируя сильноразветвленную корневую систему. Благодаря поступлению в почву большого количества свежего органического вещества и корневым выделениям бобовых трав усиливается микробиологическая активность почвы, в нее поступают продукты трансформации растительных остатков, а также продукты жизнедеятельности почвенной биоты. Все это в совокупности способствует существенному улучшению структурного состояния почв.

В почве под озимой пшеницей, идущей после черного пара, происходит уменьшение агрономически ценных агрегатов на 8,5%. Очевидно, здесь при дефиците свежего органического вещества микроорганизмы начинают утилизировать не только лабильные, но и более устойчивые гумусовые соединения – главный клеящий компонент при образовании почвенных агрегатов. Под озимой пшеницей, размещаемой после гороха, в сравнении с нутом и соей существенных изменений в содержании агрономически ценных агрегатов не наблюдалось.

Таким образом, в изучаемых звеньях севооборотов отчетливо выявилось преимущество эспарцета в отношении образования ценных структурных агрегатов почвы.

Одним из важнейших показателей почвенного плодородия является содержание в ней необходимых элементов питания для роста и развития растений, причем при формировании урожая основную роль играет не только обеспеченность ими растений, но и содержание их доступных форм. Сельскохозяйственные растения неодинаково влияют на содержание нитратного азота в почве, что зависит от биологических особенностей и условий произрастания, а следовательно, по-разному воздействуют на эффективное плодородие (табл. 2).

Таблица 2 – Пищевой режим почвы в слое 0–40 см в посевах озимой пшеницы в среднем за 2014–2019 гг.

Предшественники	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Урожайность, т/га
	мг/кг	мг/100 г почвы		
Черный пар	12,5	20,3	9,3	4,53
Горох	8,5	16,6	6,6	3,78
Нут	7,8	16,1	6,8	3,55
Соя	7,3	15,2	6,7	3,75
Сидеральный пар: эспарцетовый	10,7	18,2	7,8	4,65
Эспарцет на сено	10,0	15,7	6,1	4,43
НСР ₀₅	2,00	4,30	1,38	0,59

Результатами проведенных исследований установлено, что максимально элементами питания был обеспечен черный пар, что можно объяснить более длительным периодом парования. По обеспеченности почвы нитратным азотом и подвижным фосфором в качестве предшественника озимой пшеницы среди зернобобовых культур горох имел наилучшие показатели (8,5 мг/кг и 16,6 мг/100 г почвы соответственно).

Итоговым показателем эффективности любого изучаемого агроприема является урожайность возделываемых культур. В наших исследованиях по данному показателю предшествующие культуры, изучаемые в опыте, можно расположить в следующем убывающем ряду: эспарцет на сидерат, черный пар, эспарцет на сено, горох, соя, нут.

Таким образом, включение в структуру севооборотов многолетних трав снижает долю глыбистых агрегатов на 7,9%, что обусловлено улучшением оструктуренности почвы за счет развития мощной корневой системы многолетних трав и увеличения поступления органического вещества с узким соотношением углерода к азоту, стимулирующим усиление развития микробиологической деятельности. Содержание макроэлементов в почве во время вегетации озимой пшеницы наиболее интенсивно осуществляется на вариантах с применением эспарцета, так как заплата сидеральной массы значительно улучшает эти показатели.

Библиографический список

1. Боронтов О.К. Агрофизические свойства чернозема, выщелоченного при его обработке в паропропашном севообороте / О.К. Боронтов, Т.В. Арбузова, В.А. Королев // Земледелие. 2010. №2. С. 24–6.
2. Водно-физические свойства почвы обыкновенного чернозема в различных видах севооборотов: дис. ... канд. с.-х. наук И.М. Джумшудова. Каменная Степь, 1993. 211 с.
3. Чевердин Ю.И. Динамика изменения свойств почв в результате длительного антропогенного воздействия / Ю.И. Чевердин, О.А. Богатых, Т.В. Титова, А.Н. Рябцев // Научно-практические основы сохранения и воспроизводства плодородия ЦЧЗ. Каменная Степь, 2008. С. 26–31.

О НЕОБХОДИМОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ СОХРАНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФОЗЕМОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ

Н. А. Уланов

Кировская лугоболотная опытная станция – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса».

В работе представлены данные по оценке эффективности погребения остаточной торфяной залежи торфоземов, в плане сохранения ее органического вещества и повышения продуктивности возделываемых культур. Приведена сравнительная оценка основных водно-физических свойств почвенных горизонтов, динамики категорий влаги в них в течение вегетационного периода и урожайности кормовых культур.

ON THE NECESSITY AND TECHNOLOGICAL POSSIBILITY OF PRESERVING THE ORGANIC MATTER OF DEPLETED PEATLANDS USED IN FEED PRODUCTION

N. A. Ulanov

Kirov meadowmarsh experimental station is a branch of the Federal state budgetary scientific institution «Federal scientific center for feed production and Agroecology named after V. R. Williams».

The paper presents data on the evaluation of the efficiency of burial of residual peat deposits of depleted peatlands, in terms of preserving its organic matter and increasing the productivity of cultivated crops. A comparative assessment of the main hydro-physical properties of soil horizons, the dynamics of moisture categories in them during the growing season and productivity of fodder crops.

Согласно последней версии почвенной классификации почв России 2004 года, торфоземы выделяют на уровне отдела в стволе органогенного почвообразования, что говорит о присутствии органического материала в структуре их профиля. Эти природные объекты объединяют в себе почвы освоенных и, как правило, осушенных торфяников, поэтому органический материал в них представлен торфом различного ботанического состава и степени разложения. Торфоземы характеризуются наличием диагностического агрогоризонта, представленного (в зависимости от типа торфозема) агроторфяным или агроторфяно-минеральным горизонтом, залегающим на органогенной почвообразующей породе. Исходя из используемой в классификации терминологии относительно торфоземов, а именно: не

«...торфяной горизонт», как в отделе торфяных почв, а «...агροгоризонт», видно, что оставшийся после осушения и освоения торфяной горизонт подвергается изменению агрофизических свойств. В результате проведения осушительной мелиорации (попадание почвообразующей породы в результате прокладки осушительной сети) и последующего сельскохозяйственного освоения этих объектов (использование приемов пескования и глинования, припахивание почвообразующей породы, а также возделывание пропашных культур), торфяной горизонт обогащается минеральной примесью, что значительно ускоряет процесс биохимической сработки органического вещества торфа (Уланов, 2005). Потеря органического вещества в свою очередь приводит к резкому снижению уровня потенциального плодородия почвы (Белковский, 1985). Именно поэтому сохранение остаточного слоя торфа на выработанных торфяниках, замедление процессов его минерализации лежит в основе их любого разумного направления сельскохозяйственного использования.

Основные приемы по замедлению минерализации торфа, наиболее широко используемые в практике – увеличение в севообороте доли многолетних злаковых трав (Косолапов, Зотов, Уланов, 2009), а также обустройство систем двустороннего регулирования водного режима, обеспечивающих процесс подпочвенного увлажнения (Ивицкий, 1941; Кожанов, 1953; Янголь, 1954). Однако, существуют и более технически сложные приемы, такие, например, как запахивание торфяной залежи слоем почвообразующей породы на определенную глубину (Бамбалов, 2000; Белковский, 1985; Gottlich, Kuntze, 1980; Okruszko, 1993). Наиболее популярна такая мелиорация была в 60-70^х годах прошлого столетия в Германии и Белорусии. Так называемая «консервация» залежи должна была способствовать более длительному ее сохранению. В мелиоративной практике России этот прием обычно осуществляется, в зависимости от технологической оснащенности и возможности организации: либо запахиванием оставшегося торфяного слоя специальными сверхглубокими плугами, либо внесением поверх залежи

минерального грунта (песка, глины и др.) (Калинина, 1971; Емельянова, 1981; Зайдельман, 2002).

Цель работы: оценить эффективность погребения торфяной залежи выработанных торфяников, используемых в кормопроизводстве, с целью сохранения ее органического вещества.

Объект и методы исследования. В качестве объекта был выбран участок выработанного низинного торфомассива «Гадовское» в 30 км от г. Киров. Режим водного питания ослабленный грунтово-напорный, средняя глубина залегания грунтовых вод 40–200 см. Мощность остаточного слоя торфа на опытном участке варьирует от 0 до 1,5 м.

В результате проведения на торфомассиве осушительной мелиорации, на участке была оборудована система двустороннего регулирования водного режима. Процесс выкопки осушительных каналов сопровождался выносом на поверхность подстилающей и материнской пород. В результате чего, преимущественно вдоль транспортирующего собирателя (ТС), произошло погребение остаточного слоя торфа среднезернистым песком, перемешанным с мергелизованными карбонатными суглинками на расстоянии 5–10 м от ТС. Поэтому некогда оторфованные участки, в результате неплановой «консервации» торфяной залежи, перешли в категорию полностью сработанных с погребенным торфом. Таким образом, на некоторых участках, расположенных непосредственно возле ТС, сформировался почвенный профиль аналогичный формируемому при запахивании торфяной залежи.

Для того чтобы оценить в каком состоянии находится погребенная залежь и как она сохранилась за период 40-летнего сельскохозяйственного использования опытного участка, мы сравнили некоторые ее водно-физические свойства со свойствами не погребенной торфяной залежи. Определялись следующие показатели: объемная и удельная (пикнометрический метод) масса, полная влагоемкость (ПВ) методом насыщения (лабораторный метод), наименьшую влагоемкость (НВ) (Зайдельман, 1966), влажность разрыва капилляров (ВРК) (Долгов, 1970), влажность завядания (ВЗ) методом

вегетационных миниатюр, максимальную гигроскопическую влажность (максимальную гигроскопичность) (МГ) (Николаев, 1936).

Среди прочих наблюдений: динамика полевой влажности (термостатно-весовой способ), уровень грунтовых вод (УГВ) определяли с помощью специально оборудованных смотровых скважин, данные по атмосферным осадкам и температуре воздуха брались с местной метеостанции.

Результаты исследования. Для сравнения использовались рядом расположенные участки с торфяной залежью одинакового происхождения и состояния (по разные стороны от ТС), с той лишь разницей, что на одном из участков она была погребена минеральной породой. Основные данные, полученные в результате обследования почвенных профилей на участках с погребенной и не погребенной остаточной торфяной залежью, представлены в таблице 1.

Из данных таблицы видно, что за период многолетнего сельскохозяйственного использования водно-физические свойства торфяной залежи этих участков практически не отличаются. В севообороте обоих участков преобладала доля многолетних злаковых трав. Основное отличие погребенной торфяной залежи от не погребенной – это более высокое значение объемной массы, вследствие некоторого уплотнения залежи. Вероятно-возможное «утяжеление» торфяной прослойки минеральными илисто-глинистыми фракциями с нисходящим током атмосферных осадков нами не было установлено.

Таблица 1 – Водно-физические свойства почвенного профиля участков с погребенным и не погребенным остаточным слоем торфа

Горизонт, см	Порода	Плотность, г/см ³	ОМ, г/см ³	Влажность, %					ВЗ:МГ
				ПВ	НВ	ВРК	ВЗ	МГ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Участок с погребенным торфом									
0-35	Органо-минеральный субстрат, образовавшийся при выкопке канала	2,17 ±0,06	1,35 ±0,03	33,70 ±1,77	27,01 ±1,48	20,91 ±0,34	8,30 ±0,61	4,36 ±0,16	1,90
35-45	Торф гипново-осоковый уплотненный темно-коричневого цвета	1,12 ±0,05	0,22 ±0,02	390,24 ±7,42	339,09 ±4,67	226,75 ±10,05	81,15 ±4,29	22,75 ±1,77	3,57
45-60	Торф гипново-осоковый коричневого цвета, менее уплотнен	0,89 ±0,04	0,15 ±0,01	502,11 ±6,12	425,56 ±7,14	305,15 ±7,94	89,76 ±5,84	26,13 ±1,75	3,44
65-110	Среднезернистый песок серого цвета	2,77 ±0,07	1,63 ±0,06	24,00 ±1,48	19,60 ±0,53	2,70 ±0,07	0,95 ±0,15	0,67 ±0,05	1,42
Участок с не погребенным торфом									
0-20	Торф гипново-осоковый	1,11 ±0,05	0,18 ±0,01	400,25 ±8,42	350,06 ±5,17	230,71 ±11,05	82,00 ±4,69	23,77 ±1,87	3,45
20-55	Торф гипново-осоковый коричневого цвета	0,87 ±0,04	0,12 ±0,01	510,10 ±7,97	440,66 ±7,74	310,13 ±8,94	96,00 ±6,54	26,72 ±1,82	3,59
60-110	Среднезернистый песок серого цвета	2,78 ±0,06	1,65 ±0,06	24,09 ±1,51	19,65 ±0,55	2,74 ±0,08	0,99 ±0,16	0,71 ±0,06	1,39

Примечание: 95%-ный доверительный интервал для среднего значения ($\bar{x} \pm t_{05}S_{\bar{x}}$).

Для того чтобы установить роль погребенного торфа в оптимизации формирующегося режима влажности почвенного профиля, мы сравнили участок с полностью сработанным слоем торфа и упомянутый выше участок с погребенным торфом (рис. 1). Характер возделываемых на них культур, норма осушения, а также строение профиля (за исключением прослойки погребенного торфа) схожи.

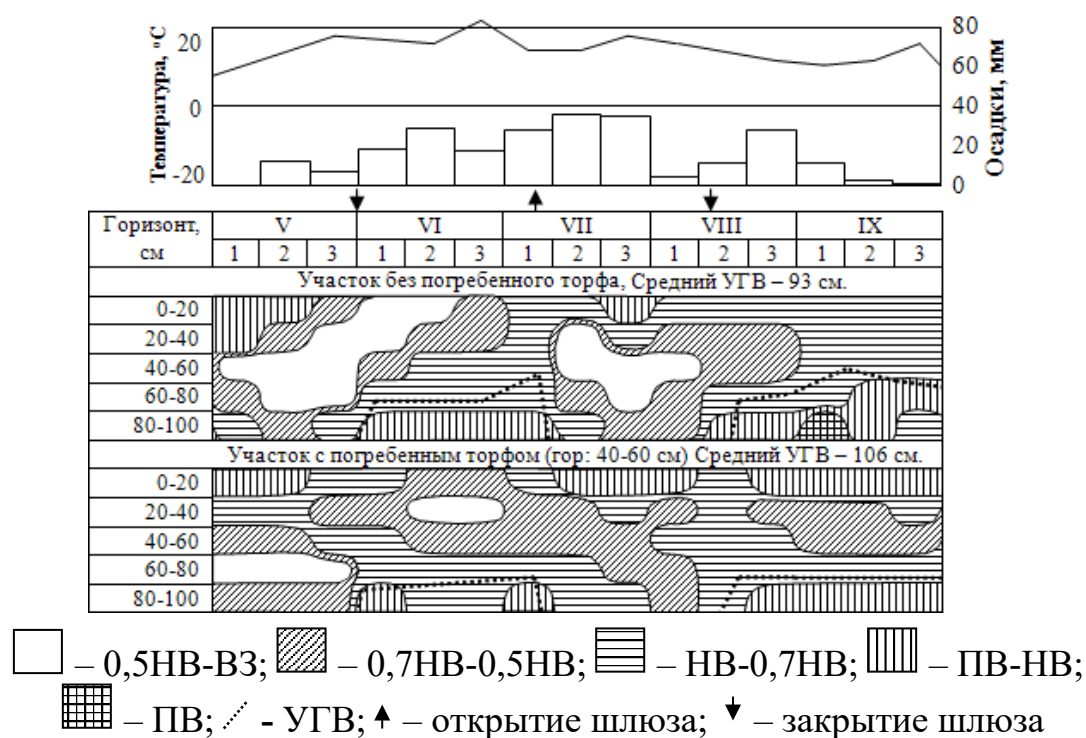


Рисунок 1 – Динамика влажности почвенного профиля на сработанных участках с погребенным торфом и без него под многолетними злаковыми травами, 2015 г.

Особенностью участков с погребенным торфом является то, что в мае влажность этих торфяных горизонтов практически всегда выше, чем минеральных, даже при более глубоком залегании грунтовых вод. Торфяная прослойка здесь играет как бы аккумулялирующую роль, удерживая в себе влагу талых вод. Влажность погребенных торфяных горизонтов в течение вегетации более стабильна, чем в минеральных. Так, проникающая в торф влага атмосферных осадков, хотя и не приводит к существенному увеличению его влажности, однако перехватывается им и удерживается. В минеральных горизонтах этого не происходит, поскольку влага быстро стекает вниз по профилю и соединяется с капиллярно-подпертой влагой, в результате чего эти минеральные горизонты имеют более низкую, по сравнению с торфяными горизонтами, влажность. Благодаря этому количество дней с оптимальной влажностью (выше 0,5 НВ) в погребенном торфяном горизонте составляет 153 дня (весь период вегетации), тогда как в минеральном горизонте на аналогичной глубине лишь 91 день, что составляет 59% времени от всего периода вегетации. Формирующийся таким образом более благоприятный в профиле режим

влажности положительным образом сказывается и на урожайности возделываемых культур. Так, в сумме за два укоса урожайность многолетних злаковых трав на участке с погребенным слоем торфа была на 64% выше, чем на участке без погребенного торфа (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность многолетних трав на участках со сработанным слоем торфа, ц/га воздушно сухого вещества, 2015 г.

Вариант	1-й укос		2-й укос		Сумма за два укоса	
	колебания УГВ, см (V-VI)	урож-ть, ц/га	колебания УГВ, см (VI-IX)	урож-ть, ц/га	колебания УГВ, см (V-IX)	урож-ть, ц/га
Без погребенного торфа	$\frac{65-140}{85}$	32,9	$\frac{65-67}{65}$	11,2	$\frac{65-140}{74}$	44,1
С погребенным торфом	$\frac{74-150}{78}$	38,3	$\frac{73-74}{74}$	34,0	$\frac{73-150}{76}$	72,3
	НСР ₀₅ = 4,6 ц		НСР ₀₅ = 7,0 ц			

Выводы. Погребение остаточной торфяной залежи можно считать весьма эффективным приемом ее сохранения. Даже в результате длительного сельскохозяйственного использования таких земель, ее водно-физические свойства не ухудшаются. Кроме того, наличие таких прослоек в почвенном профиле способствует формированию в нем более благоприятного и стабильного режима влажности, делая его менее зависимым от резких скачков УГВ и выпадения обильных атмосферных осадков.

Аналогичная «консервация» торфяного слоя в отдельные засушливые периоды, благодаря оптимизации влажности профиля, способствует увеличению урожайности кормовых культур, а особенно корневищных злаковых трав.

Список литературы

1. Бамбалов Н.Н. Стадии антропогенной эволюции осушенных торфяных почв // Эколого-экономические принципы эффективного использования мелиорируемых почв. Материалы конференции. Минск, 2000. – С. 7–11.
2. Белковский В.И. Структурная мелиорация мелкозалежных торфяников. – Минск: Ураджай, 1985. – 88 с.
3. Емельянова И.М., Малышева Г.А., Петрова М.П. Повышение плодородия торфяных почв. – Л.: Колос, 1981. – 96 с.
4. Зайдельман Ф.Р., Батраков А.С., Шваров А.П. и др. Влияние разных способов внесения песка в осушенные торфяные почвы на их физические свойства // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. № 1. – М., 2002. – С. 33–39.

5. Ивицкий А.И. Влияние шлюзования на водный режим торфяной почвы // Сельскохозяйственное освоение болот. – М., 1941. – С. 106–110.
6. Калинина В.В. Пескование – эффективный прием улучшения торфяно-болотных почв // Вопросы мелиорации земель Новгородской области. Труды Сев. НИИГиМ. – Л.: Лениздат, 1971. – С. 37–43.
7. Кожанов К.Я. Регулирование влажности торфяно-болотных почв // Труды института мелиорации, водного и болотного хозяйства АН БССР, Т. III. – Минск: Изд-во АН БССР, 1953. – С. 200–242.
8. Косолапов В.М., Зотов А.А., Уланов А.Н. Кормопроизводство на торфяных почвах России. – М., 2009. – 858 с.
9. Уланов А.Н. Торфяные и выработанные почвы южной тайги Евро-Северо-Востока России. – Киров, 2005. – 320 с.
10. Янголь А.М. Увлажнение осушенных болот подземным способом // Научные труды УкрНИИГиМ, Вып. 76/2. – Киев: Госсельхозиздат УССР, 1954. – С. 166–179.
11. Gottlich K. Kuntze H. Moorund Torfkunde. – 2 Aufl. Stuttgart, 1980.
12. Okruszko H. Transformation of fen-peat soils under the impact of draining // Agrophysical bases of soils and cultivated plants productivity. Part. 3. Organic soils. Lublin, 1993. S. 3–73.

АЛЛЕЛОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ И СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ЕЕ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Г. Н. Федотов, И. В. Горепекин

МГУ им. М. В. Ломоносова, Факультет почвоведения

На основе учета явления аллелотоксичности почв разработана основа препарата-стимулятора для предпосевной обработки семян яровой пшеницы, состоящая из бентонита и гумата (СРП), а также автолизата пивных дрожжей. Введение препарата «Бутон» в смесь СРП с АПД приводит к повышению эффективности его использования по сравнению с индивидуальным применением с 5...7% до 25...34%.

ALLELOTOXICITY OF SOILS AND METHODS OF REDUCING ITS NEGATIVE EFFECTS ON SPRING WHEAT SEEDS GERMINATION

G. N. Fedotov, I. V. Gorepekin

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science

The agricultural technique of pre-sowing seed treatment attracted researchers for a long time due to its technological simplicity and cheapness of introduction into production. However, the effectiveness of many of the resulting preparations, proven in laboratory conditions, as a rule, decreased significantly when conducting field tests. In our opinion, the main reason for this is that laboratory experiments were conducted for studying only seeds reaction to the applied treatment. Therefore, inert substrates were used in the experiments. Meanwhile, it is known that soils are not just the mechanical substrate for the development of seeds but also a source of biologically active substances (BAS), which can be divided into stimulating and inhibiting by their effect on seed germination. The last group of substances is allelotoxins.

We suggested that the reduction value and non-reproducibility of effects from the use of stimulants for the pre-sowing treatment of seeds are because their influence should be manifested on the background of the action on seeds of the limiting factor – soil allelotoxins, which have an inhibitory effect on plant development.

The work aimed to find approaches to improve the effectiveness of stimulating preparations application for pre-sowing treatment of spring wheat seeds based on reducing the effect of soil allelotoxicity.

We used spring wheat seeds of 6 cultivars zoned for the non-Chernozem zone of Russia, samples of 5 sod-podzolic soils (Albic Retisols (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)), as well as washed river sand. The effect of seeds treatment with preparations on the change in the total length of seedlings 7.5 g of seeds (~200 units) during their germination in soil and sand was studied using the express method based on the existence of a linear relationship between the bulk volume of sprouted seeds in water and the length of their seedlings. The value of the sprouts' total length of untreated seeds was used as a control. We used six-fold repetition with subsequent statistical processing of the results. The use of 1000-1200 seeds in one experiment made it possible to minimize the error associated with the heterogeneity of seeds. As a result, the experience error did not exceed 7% at the 95% significance level.

Experiments have shown that the effect of sorption preparation (SP) is more pronounced the higher the inhibition of the initial stage of plant development by soils. It is shown that such treatment is not effective for all varieties of spring wheat. For some of them, SP treatment causes inhibition of seed germination and the development of their seedlings.

The introduction of brewer's yeast autolysate (BYA) to the sorption preparation removes the inhibition of the initial stage of plant development when using SP. The introduction of the «Buton» preparation to a mixture of SP with BYA leads to an increase in the effectiveness of its application compared to individual use from 5...7% to 25...34%.

Предпосевная обработка семян является перспективным приемом повышения урожайности сельскохозяйственных культур в силу своей технологической простоты и дешевизны производственного внедрения. Эти факторы обуславливали большое внимание исследователей к разработке стимулирующих составов, однако эффективность получаемых препаратов, доказанная в лабораторных условиях, как правило, заметно снижалась при переходе к полевым испытаниям. На наш взгляд, это в первую очередь, связано с тем, что лабораторные опыты проводили с использованием инертных субстратов для изучения исключительно реакции семян на применяемое воздействие. При подобном подходе не учитывали влияние почв, в которые при посеве попадают обработанные семена, и где уже присутствует широкий спектр биологически-активных веществ (БАВ), способных оказывать, как стимулирующее, так и ингибирующее влияние на развитие семян (Гродзинский и др., 1991; Reigosa et al., 2006).

Мы предположили, что снижение величины и невоспроизводимость эффектов от использования стимуляторов для предпосевной обработки семян связаны с тем, что их влияние должно проявляться на фоне действия на семена лимитирующего фактора – почвенных аллелотоксинов, которые оказывают ингибирующее влияние на развитие растений.

Целью работы являлся поиск подходов повышения эффективности использования препаратов-стимуляторов для предпосевной обработки семян яровой пшеницы на основе снижения влияния аллелотоксичности почв.

В экспериментах использовали семена яровой пшеницы (*Triticum*) урожая 2018 г. сортов «Лиза», «Злата», «Любава», «Эстер», «Агата» и «РИМА», а также образцы следующих дерново-подзолистых почв: окультуренная дерново-подзолистая глубоко-подзолистая глубокопахотная легкосуглинистая на

покровных суглинках, подстилаемых флювиогляциалом после вико-овсяной смеси влажностью 25,6% (1), после горчицы влажностью 25,9% (2), после картофеля влажностью 24,1% (3) Московская область, Чашниково; дерново-неглубокоподзолистая освоенная глубокопахотная легкосуглинистая почва на покровных суглинках, подстилаемых мореной, залежь с 2015 г. влажностью 19,9% (5) Московская область, Чашниково; агродерново-глубокоподзолистая супесчаная на водно-ледниковых (древнеозерных) отложениях, подстилаемая с глубины 92 см бескарбонатными лессовидными (покровными) суглинками после пшеницы влажностью 18,1% (9) из окрестностей поймы р. Яхрома (Московская область, Дмитровский район). Свойства почв, включая их аллелотоксичность были определены ранее (Федотов и др., 2020). В работе использовали также сухой отмытый речной песок с размером частиц 0,5–0,8 мм.

Было изучено влияние обработки семян препаратами на изменение длины проростков 7,5 г семян (~200 шт.) при их прорастании в различных почвах и песке. Влияние препаратов изучали по сравнению с необработанными семенами. Длину проростков определяли, используя экспресс-метод, основанный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом проросших семян в воде и длиной их проростков (Федотов и др., 2019). Применяли шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. В связи с использованием в одном опыте 1000–1200 семян удавалось минимизировать ошибку, связанную с разнокачественностью семян. В результате ошибка опыта не превышала 7% при 95% уровне значимости.

Для проверки предположения о возможности стимуляции семян при снижении негативного влияния на их прорастание почвенных аллелотоксинов было необходимо ограничить поступление этих веществ в семена. Создание сорбционного барьера на поверхности семян могло позволить решить эту задачу.

Было проверено действие следующих твердых сорбентов: силикагель ЛС для тонкослойной хроматографии; оксид алюминия; инертон АW, носитель для газовой хроматографии; полисорб МП энтеросорбент (коллоидный диоксид кремния); фильтрум-сти (лигнин гидролизный); активированный уголь (БАУ-А).

Обработку семян проводили твердыми сорбентами, находящимися в порошкообразном состоянии.

Полученные данные свидетельствуют о неоднозначном влиянии применения сорбентов. В ряде случаев как, например, для оксида алюминия, удалось добиться незначительной стимуляции на уровне 11% при удалении из системы веществ, ингибирующих процессы прорастания семян и развития их проростков. Однако наблюдаются и отрицательные результаты обработки, которые характерны как для гидрофобных (активированный уголь: – 18%), так и для гидрофильных сорбентов (инертон: – 20%), то есть данный эффект, по видимому, связан не только со свойствами поверхности сорбентов.

Таким образом, наблюдаемые при обработке семян эффекты могут быть обусловлены как ограниченным набором активных центров, так и большим размером самих частиц, не позволяющих создать однородный слой на поверхности семян, препятствующий проникновению в них аллелотоксинов.

По сравнению с твердыми сорбентами гуматы обладают частицами значительно меньшего размера. При этом в сочетании с глинистыми минералами они проявляют большую сорбционную способность к органическим загрязнителям (Куликова, 1999). Основываясь на этих данных, мы для снижения влияния почвенных аллелотоксинов на семена и усиления действия стимуляторов решили применить их предпосевную обработку бентонито-гуматовыми смесями.

При подборе концентраций бентонита и гумата при расходе суспензии препарата 20 л/т на яровой пшенице «Лиза» оптимальной является концентрация 40 г/л бентонита кальция и 10 г/л гумата, что обеспечивает 25% стимуляцию. При увеличении расхода суспензии в два раза до 40 л/т стимуляция возрастает до 30%, что заметно выше лучшего результата в 11%, полученного для оксида алюминия.

Следует отметить, что стимулирующий эффект от использования СРП наблюдается только для сортов «Лиза» и «Злата» (+30 и +25%). Для сорта «Агата» стимуляция практически отсутствует (+4%), а для сортов «Любава»,

«Эстер» и «РИМА» наблюдается угнетение (–7%, –14% и –17% соответственно). То есть, применение сорбционного препарата разбило семена на две группы.

Для объяснения полученных результатов мы предположили, что применение СРП с широким набором активных центров может блокировать поступление в семена не только аллелотоксинов, но и стимулирующих их прорастание биологически-активных веществ.

Для проверки правильности подобного подхода мы изучили поведение при прорастании семян, непрошедших послеуборочное дозаривание. Из полученных данных хорошо видно (табл. 1), что почвы стимулировали развитие растений на ранней стадии из таких семян, но ингибировали развитие растений на ранней стадии из семян, прошедших послеуборочное дозаривание.

Таблица 1. Влияние дерново-подзолистой почвы (9) на прорастание и развитие семян пшеницы по сравнению с их развитием в песке, выраженное в процентах стимуляции (+) или ингибирования (–)

Сорта яровой пшеницы	Время, прошедшее после сбора урожая	
	1–1,5 месяца	2,5–3 месяца
«Злата»	+17%	–42%
«РИМА»	+36%	–36%
«Эстер»	+273%	–65%
«Агата»	–25%	–52%
«Лиза»	–12%	–49%
«Любава»	+ 2%	–34%

Для устранения негативного эффекта сорбционной смеси в нее был добавлен автолизат пивных дрожжей (АПД), содержащий витамины, пептиды, аминокислоты, липиды и т. д., которые могли бы заполнить активные центры сорбента и предотвратить сорбцию стимулирующих почвенных БАВ. Проведенные эксперименты показали, что эффективность применения полученного состава (БК-Г-АПД) на семенах, ранее угнетаемых СРП (пшеница сорт «Любава» – 2 группа) повысилась, предпосевная обработка ими семян перестала угнетать их прорастание, а стала стимулировать их (рис. 1).

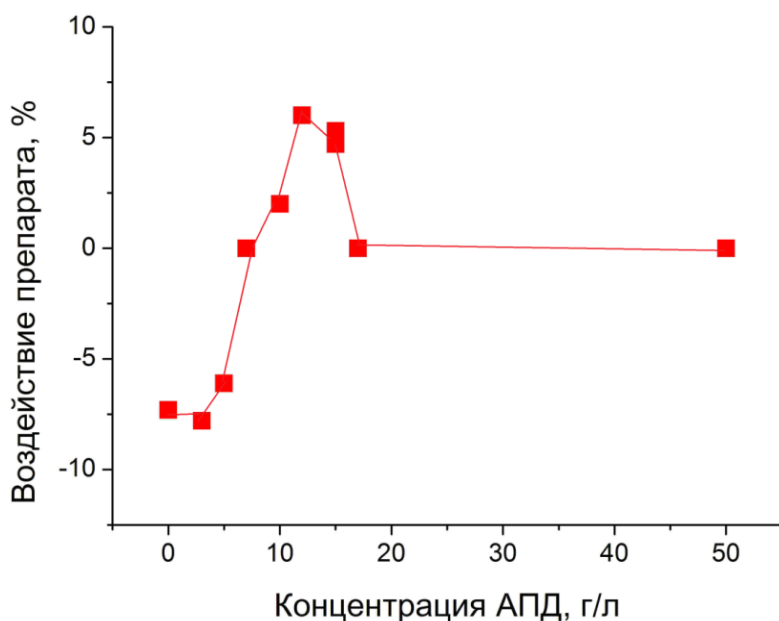


Рис. 1. Влияние содержания АПД в суспензии бентонита (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) на прорастание семян яровой пшеницы сорт «Любава» и на развитие их проростков

Подтверждало нашу гипотезу об активном негативном влиянии аллелотоксинов на стимуляцию также то, что зависимости, полученные на сортах яровых пшениц «Лиза» и «Злата» свидетельствовали об увеличении эффективности стимулирующего действия сорбционного препарата при повышении аллелотоксичности почв (рис. 2).

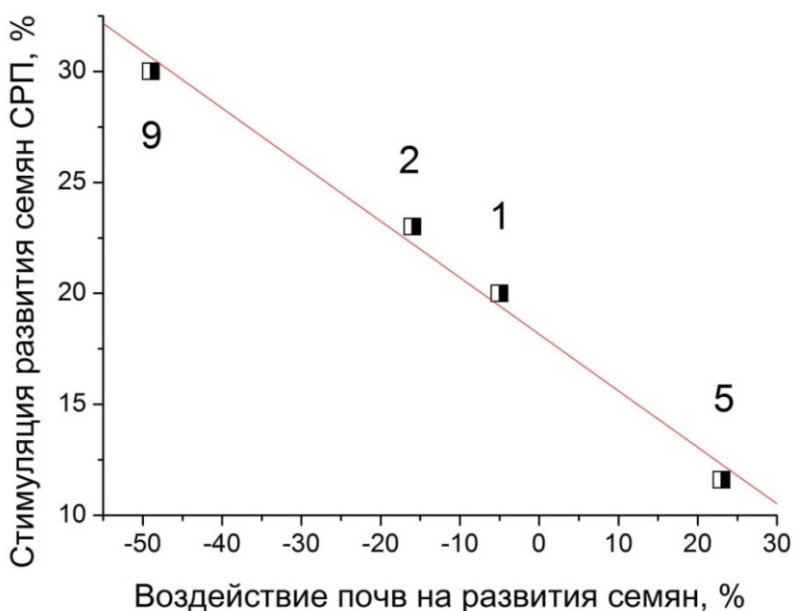


Рис. 2. Влияние ингибирующей способности почв на прорастания семян и развития проростков яровой пшеницы сорт «Лиза» на стимуляцию семян, обработанных СРП, в этих почвах. Цифрами указаны номера почв

Таким образом, мы получили препарат (Кальциевый бентонит – Гумат – АПД), который, с одной стороны, сорбировал аллелотоксины из почв, а, с другой стороны, в минимальной степени поглощал почвенные БАВ, необходимые для развития семян. Это могло позволить проявиться возможностям существующих препаратов для стимуляции начальной стадии развития растений из семян.

Введение в разработанный состав препарата «Бутон», содержащего натриевые соли гиббереллиновых кислот в количестве 20 г/кг, привело к заметному усилению стимуляции семян гиббереллинами с 5...7%, наблюдаемых для растворов индивидуального препарата, до 25%. На пшенице сорт «Лиза» стимулирующий эффект препарата оказался еще выше и составил около 34% (табл. 2).

Таблица 2. Влияние предпосевной обработки семян яровых пшениц суспензиями препаратов на основе СРП на начальную стадию развития растений из семян на дерново-подзолистых почвах

Сорт пшеницы	Номер почвы	Состав препарата*, г/л	Эффект, %
«Лиза» (1 группа)	2	БК-Г-Бутон (40-10-2)	+8±3
		БК-Г-АПД-Бутон (40-10-12-2)	+34±5
«Любава» (2 группа)	9	БК-Г-Бутон (40-10-2)	+2±3
		БК-Г-АПД-Бутон (40-10-12-2)	+25±5

*БК – бентонит кальциевый; Г – гумат; АПД – автолизат пивных дрожжей; Бутон – препарат «Бутон»

На основе полученных в работе данных можно сделать следующие выводы:

1. Применение СРП на основе бентонито-гуматовых смесей для стимулирующей обработки семян при посеве их в почвы эффективно не для всех сортов пшеницы. Введение АПД в сорбционный препарат, по-видимому, позволяет заполнить активные центры сорбента, на которых могут закрепляться стимулирующие прорастание семян БАВ из почв.

2. Действие СРП на семенах, развитие из которых растений на начальной стадии не лимитируется поступлением БАВ из почв, проявляется тем сильнее, чем выше ингибирование развития семян почвами.

3. Введение препарата «Бутон» в смесь СРП с АПД приводит к резкому повышению эффективности его использования с 5...7 % до 25...34 %.

Список литературы

1. Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление: Избр. тр. Киев: Наук. думка, 1991. 432 с.
2. Куликова Н.А. Связывающая способность и детоксицирующие свойства гумусовых кислот по отношению к атразину. Дис. ... канд. биол. н. М.: МГУ, 1999. 171 с.
3. Федотов Г.Н., Горепекин И.В., Позднякова А.Д., Завгородняя Ю.А., Исакова С.А. Взаимосвязь предыстории и химических свойств почв с их аллелотоксичностью // Почвоведение. 2020. № 3. С. 379–386.
4. Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф., Горепекин И.В. Влияние аллелотоксичности почв на прорастание семян зерновых культур // Почвоведение. 2019. № 4. С. 489–496.
5. Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Edited by M. J. Reigosa, N. Pedrol and L. Gonzalez. Published by Springer. Printed in the Netherlands. 2006. 637 p.

ТРАНСФОРМАЦИЯ СОЛОНЦЕВАТЫХ ПОЧВ ТАМАНИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Е. А. Черников, А. А. Мarmorштейн, Н. В. Савчук, Е. К. Курденкова
*ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия», г. Краснодар*

Показаны результаты анализа изменения климатических условий Тамани за 59-летний период по разным временным промежуткам. Выявлена тенденция к увеличению засушливости территории. Установлено повышение доли обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе и увеличение содержания солей в центральной части профиля среднесолонцеватых засоленных почв. В дальнейшем эти изменения могут привести к переводу изучаемых почв в разряд сильносолонцеватых и солонцов.

TRANSFORMATION OF SALINE SOILS OF TAMAN IN A CHANGING CLIMATE

Е. А. Chernikov, А. А. Marmorstein, N. V. Savchuk, E. K. Kurdenkova
*North Caucasus Federal scientific center for horticulture, viticulture, and wine-
making, Krasnodar*

The South of Russia is best suited for growing grapes due to its soil and climate conditions. Since in the Anapo-Taman zone a significant part of the soil was formed on saline tertiary clays, among them, when the saline clays are close to the soil surface, saline and saline soils are formed. Changes in weather conditions, especially the soil moisture regime, can significantly affect the movement of salt solutions and the transformation of saline and saline soils.

In this regard, we have conducted research on the transformation of saline soils in the Central part of the Taman Peninsula. The key site is located on a deluvial gently sloping plain from the southern slopes of the Cymbal ridge to the lower part of the slope, which contains arable land and grape plantations. The analysis of climatic conditions (according to the Temryuk weather station) and their changes from 1960 to 2019 for different time periods showed a tendency to increase the aridity of the territory in the last 20–30 years due to an increase in temperatures and a decrease in precipitation fluctuations from the average.

As a result of a comparative analysis of the structure of the soil profile with data from 1982, a decrease in the amount of absorbed bases by 4–22% was found, mainly due to a decrease in the exchange of calcium. The following trend has been revealed for the percentage of exchange sodium in the PPC: in the southern deep-saline chernozems and in the zone of the approximate border of soil areas, the percentage of exchange sodium in the soil profile has decreased or remained at the level of data from 1982. On the southern chernozems srednekraevykh had been an increase in the percentage of exchangeable sodium in the Central part of the soil profile to 150–400%, which indicates the transition srednekraevykh (with a depth of 70 cm) soils with slightly alkaline, saline soils and surface selenocyanate from a depth of 70 cm. Further development of these processes may lead to the transfer of the studied soils to the category of strongly saline and saline.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и АКК в рамках научного
проекта № 19-44-233004 р_мол_а, а также в рамках выполнения
государственного задания ФГБНУ СКФНЦСВВ*

Юг России по своим почвенно-климатическим условиям наилучшим образом подходит для выращивания винограда. Наибольшие площади виноградных плантаций расположены в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах. Значительные площади земель под виноградниками характеризуются отрицательными свойствами, которые негативно влияют на продуктивность виноградных насаждений и качество продукции. В том числе это засоление и солонцеватость почв (Черников, Попова, 2017).

Поскольку в Анапо-Таманской зоне значительная часть почв сформировалась на засоленных третичных глинах, то среди них, при близком залегании засоленных глин к поверхности почвы, формируются солонцеватые и солончаковатые почвы (Благоволин, 1962). Изменение погодных условий, в особенности режим увлажнения почвы, может в значительной степени повлиять на движение солевых растворов и трансформацию засоленных и солонцеватых почв. В зависимости от рельефа местности и свойств почвы при увеличении количества осадков может происходить как увеличение степени засоления почв за счёт переноса большего количества солей от их источника, так и рассоление почв и образование незасоленных солонцовых комплексов за счёт более интенсивного промывания солей вниз по профилю почвы. Вследствие изменения погодных условий и длительного интенсивного сельскохозяйственного использования в условиях монокультуры винограда происходит трансформация свойств почв. Эти изменения зачастую приводят к снижению уровня плодородия почв, а иногда и выводу их из разряда сельскохозяйственных земель (Хитров и др., 2016, Черников и др., 2018).

В связи с этим нами были проведены исследования трансформации солонцеватых почв в центральной части Таманского полуострова. Ключевой участок расположен на делювиальной пологонаклонной равнине от южных склонов гряды Цимбала до нижней части склона, на которой размещены пахотные земли и виноградные плантации.

Анализ климатических условий (по данным метеостанции Темрюк) и их изменений с 1960 по 2019 гг. по разным временным промежуткам показал (Агромет-й бюллетень за 1960–2019 годы):

– рост температур самого холодного и самого теплого месяцев;

увеличение периода активной вегетации и сумм температур воздуха выше +10°C;

– увеличение средней суммы летних осадков и кратковременное повышение средней суммы осадков за год, октябрь-март и апрель-сентябрь во втором двадцатилетнем периоде, увеличение среднего количества осадков во втором тридцатилетнем периоде;

– тенденцию к увеличению засушливости территории в последние 20-30 лет за счет увеличения температур и снижения колебаний атмосферных осадков от среднего.

Проведён ретроспективный анализ структуры почвенного покрова ключевого участка, расположенного на делювиальной наклонной равнине южнее склонов горы Цымбалы в центральной части Таманского полуострова.

По результатам почвенного обследования, проведённого в 1982 году в границах ключевого участка было выделено два почвенных ареала – чернозёмы южные среднесолонцеватые слабогумусные мощные глинистые на делювиальных засоленных глинах (северная часть ключевого участка) и чернозёмы южные слабовыщелоченные глубокосолонцеватые слабогумусные мощные глинистые на делювиальных глинах. На основании почвенной карты 1982 года были установлены точки, в которых были заложены почвенные разрезы. Для проведения сравнительного анализа в зоне этих точек нами были заложены буровые скважины (по три скважины в зоне одной точки предполагаемого места расположения почвенного разреза с расстоянием между скважинами 5–10 метров) и отобраны образцы с ненарушенным сложением по всему почвенному профилю.

В результате сравнительного анализа структуры почвенного профиля установлено:

– во всех изучаемых почвах преимущественно было отмечено снижение суммы поглощённых оснований на 4–22 %, преимущественно за счёт снижения обменного кальция. Снижение содержания обменного магния и натрия отмечено в значительно меньшей степени, а в средней части почвенного профиля чернозёмов южных среднесолонцеватых отмечено увеличение содержания обменного натрия (табл. 1–3).

По процентному содержанию обменного натрия в ППК выявлена следующая тенденция – на чернозёмах южных глубокосолонцеватых и в зоне ориентировочной границы почвенных ареалов процентное содержание обменного натрия в почвенном профиле уменьшилось или осталось на уровне данных 1982 года.

Таблица 1. Сумма поглощённых оснований, мг-экв./100 г почвы

Разрез	Слой почвы, см	Данные 1982 года	Данные 2019 года		
			1 скв.	2 скв.	3 скв.
Чернозёмы южные слабовыщелоченные глубокосолонцеватые слабогумусные мощные глинистые на делювиальных глинах	0–20	37,1	29,3	28,9	28,9
	70–80	36,8	31,8	30,4	30,5
	110–120	37,5	30,0	31,5	32,6
	140–150	35,7	29,8	30,2	32,4
Ориентировочная граница почвенных ареалов	0–20	45,3	37,9	38,2	38,1
	60–70	39,9	36,6	34,9	35,8
	90–100	42,6	35,3	35,2	35,2
Чернозёмы южные среднесолонцеватые слабогумусные мощные глинистые на делювиальных засолённых глинах	0–20	43	30,0	41,5	41,2
	70–80	41,1	40,5	39,8	38,4
	120–130	40	35,1	34,4	47,8

Таблица 2. Содержание обменного натрия, мг-экв./100 г почвы

Разрез	Слой почвы, см	Данные 1982 года	Данные 2019 года		
			1 скв.	2 скв.	3 скв.
Чернозёмы южные слабовыщелоченные глубокосолонцеватые слабогумусные мощные глинистые на делювиальных глинах	0–20	0,3	0,4	0,3	0,2
	70–80	0,6	0,5	0,5	0,5
	110–120	1,3	0,4	0,7	0,7
	140–150	2	0,7	1,0	1,2
Ориентировочная граница почвенных ареалов	0–20	0,6	0,3	0,3	0,3
	60–70	0,6	0,5	0,6	0,5
	90–100	0,8	0,9	0,8	0,9
Чернозёмы южные среднесолонцеватые слабогумусные мощные глинистые на делювиальных засолённых глинах	0–20	0,4	1,0	1,2	1,8
	70–80	4	12,1	12,1	11,3
	120–130	8,6	11,4	11,6	3,8

На чернозёмах южных среднесолонцеватых отмечалось увеличение процентного содержания обменного натрия в центральной части почвенного профиля на 150–400 %, что свидетельствует о переходе среднесолонцеватых (с глубины 70 см) почв в слабосолонцеватые с поверхности и сильносолонцеватые с глубины 70 см.

Таблица 3. Процентное содержание обменного натрия от суммы поглощённых оснований

Разрез	Слой почвы, см	Данные 1982 года	Данные 2019 года		
			1 скв.	2 скв.	3 скв.
Чернозёмы южные слабовыщелоченные глубокосолонцеватые слабогумусные мощные глинистые на делювиальных глинах	0–20	0,8	1,3	1,0	0,7
	70–80	1,6	1,5	1,5	1,8
	110–120	3,5	1,4	2,3	2,0
	140–150	5,6	2,5	3,3	3,6
Ориентировочная граница почвенных ареалов	0–20	1,4	0,9	0,7	0,8
	60–70	1,5	1,4	1,6	1,5
	90–100	2	2,6	2,4	2,5
Чернозёмы южные среднесолонцеватые слабогумусные мощные глинистые на делювиальных засолённых глинах	0–20	0,9	3,3	2,9	4,3
	70–80	10	29,9	30,3	29,4
	120–130	20,2	32,5	33,8	33,4

Кроме того, в изучаемых почвах отмечается увеличение содержания суммы солей на 5,8–149,2 % в сравнении с данными 1982 года. Также произошло изменение состава солей в почвах, отмечается снижение доли гидрокарбонатов и увеличение доли хлоридов и сульфатов. Солевой состав чернозёмов южных глубокосолонцеватых наиболее подвержен изменению в нижней части почвенного профиля (на глубине 230–240 см), а в чернозёмах южных среднесолонцеватых наибольшее увеличение содержания солей (преимущественно за счёт хлоридов натрия и сульфатов кальция и магния) было зафиксировано в центральной части почвенного профиля (на глубине 120–130 см).

Таким образом, тенденция к увеличению засушливости территории Тамани в последние 20–30 лет за счет увеличения температур и снижения

колебаний атмосферных осадков от среднего способствует увеличению доли обменного натрия в ППК среднесолонцеватых засоленных почв и повышению содержания солей в центральной части почвенного профиля. В дальнейшем это может привести к переводу этих почв в разряд сильносолонцеватых и солонцов. В глубокосолонцеватых не засоленных почвах эти процессы наблюдаются в значительно меньшей степени.

Список литературы

1. Черников Е.А., Попова В.П. К вопросу о причинах деградации чернозёмов южных Таманского полуострова // Научный журнал СКЗНИИСиВ «Плодоводство и виноградарство Юга России» [Электронный ресурс]. Краснодар: СКЗНИИСиВ. 2017. № 46(04). Режим доступа: <http://journalkubansad.ru/archive/46/>.
2. Благоволин Н.С. Геоморфология Керченско-Таманской области. М.: изд-во Академии наук СССР, 1962. 192 с.
3. Хитров Н.Б. Причины и механизмы засоления почв виноградников юга Тамани / Н.Б. Хитров, Е.А. Черников, В.П. Попова, Т.Г. Фоменко // Почвоведение. 2016. № 11. С. 1305–1318.
4. Черников Е.А., Попова В.П., Фоменко Т.Г. Развитие процессов засоления почв виноградников при изменении условий увлажнения на Тамани // Агрофизика. 2018. № 3. С. 31–37.
5. Черников Е.А., Попова В.П., Фоменко Т.Г. Особенности солевого режима почв виноградников в условиях юга Тамани // Труды КубГАУ. 2018. № 75. С 02–108.
6. Агрометеорологический бюллетень по территории Краснодарского края за 1960–2019 годы.

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ МЕЛИОРАНТА НА КОНКУРЕНТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ZN, CA, MG В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ»

К. Ф. Шаврина¹, С. Е. Витковская^{1,2}

¹ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);

²ФГБОУ ВО Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ)

В условиях многолетнего микрополевого опыта изучали распределение Zn, Ca и Mg в системе «почва – растение» в зависимости от дозы доломитовой муки. Установлено, что конкурентные взаимодействия Ca-Zn и Mg-Zn существенно зависели от видовых особенностей растений. Наиболее интенсивно проявились взаимодействия Mg-Zn в растениях вики и ячменя: коэффициенты корреляции по линейным моделям составили –0,886 и –0,936 соответственно.

INFLUENCE OF INCREASING DOSES OF MELIORANT ON COMPETITIVE INTERACTIONS OF ZN, CA, MG IN THE SOIL – PLANT SYSTEM

K. F. Shavrina¹, S. E. Vitkovskaya^{1,2}

¹ *Agrophysical research Institute (AFI)*;

² *Russian state hydrometeorological University (RSHU)*

The distribution of Zn, Ca and Mg in the soil-plant system depending on the dose of dolomite flour was studied in the conditions of many years of micro-field experience. It was found that the competitive interactions of Ca-Zn and Mg-Zn significantly depended on the species characteristics of plants. Mg-Zn interactions were most pronounced in vetch and barley plants: the correlation coefficients for linear models were –0.886 and –0.936, respectively.

Роль цинка чрезвычайно многообразна: он является важным микроэлементом, влияющим на обмен веществ в организме, на рост и развитие растений, на формирование генеративных органов и образование плодов. Zn входит в состав более 200 ферментов, которые играют важную роль в образовании белков, углеводов и липидов, участвует в синтезе хлорофилла, образовании ауксина, ДНК и рибосом (Алексеев, 2008; Гэлстон и др., 1983; Ильин, 1991; Каббата-Пендиас, Пендиас, 1989; Черных, Овчаренко, 2002).

Кальций играет большую роль в создании благоприятных для растений, физических, физико-химических и биологических свойств почвы (Возбуждая, 1968). Ионы кальция участвуют во многих физиологических процессах растительного организма, а именно регуляции роста и развития, защите от

патогенных влияний, восприятию изменений физических и химических факторов окружающей среды и многих других аспектах физиологии растений (Швартау и др., 2014).

Магний является полифункциональным элементом питания растений. Он входит в состав органелл, клеток, мембран, клеточных стенок. Mg также выполняет важную функциональную роль в составе более 300 ферментов способствует повышению урожайности и улучшению качества продукции, оказывает влияние на биологическую активность почвы (Тихомирова, 2011).

Взаимодействия цинка, кальция и магния, неполных химических аналогов, могут быть как антагонистическими, так и синергетическими в зависимости от вида растений и среды (Каббата-Пендиас, Пендиас, 1989). В литературе чаще встречаются сведения об антагонизме этих элементов. Скорость поступления цинка в растения в значительной мере зависит от состава питающего раствора, от присутствия в нем кальция и магния. Избыточное содержание этих элементов может вызвать дефицит цинка в питании растений (Аштаб, 1994).

Известкование – обязательный прием сохранения и воспроизводства плодородия дерново-подзолистых почв агроландшафтов, существенно влияющий на физические, химические, биологические свойства почвы, на распределение макро- и микроэлементов в системе почва–растение. При внесении в почву мелиорантов, помимо нейтрализации почвенной кислотности и насыщения почвенного поглощающего комплекса основаниями, происходит усиление конкурентных взаимодействий между Ca, Mg и их химическими аналогами, приводя к изменению элементного состава почвенного раствора и растений (Витковская и др., 2020).

Содержание доступных для растений соединений цинка существенно зависит от реакции почвы, избыточное внесение известковых мелиорантов может привести к дефициту элемента в сельскохозяйственных культурах. (Клебанович, Василюк, 2003). Многочисленными исследованиями доказано, что при недостатке цинка в растениях накапливаются редуцирующие сахара, небелковые соединения азота, органические кислоты, уменьшается содержание

сахарозы и крахмала, нарушается синтез белка. Характерный признак для всех растений, страдающих от недостатка цинка – это задержка роста (Битюцкий, 1999, Школьник, 1974).

Исследование взаимодействия Zn-Ca и Zn-Mg в системе почва-растение в широком диапазоне доз доломитовой муки позволяет построить зависимости, характеризующие влияние содержания Ca и Mg в растениях на накопление Zn.

Влияние возрастающих доз доломитовой муки (ДМ) на конкурентные взаимодействия цинка, кальция и магния в системе почва–растение изучали в условиях многолетнего микрополевого эксперимента, заложенного в мае 2012 г. в Меньковском филиале Агрофизического института в полиэтиленовых сосудах без дна ($S = 1 \text{ м}^2$, глубина 25 см, $\approx 300 \text{ кг}$ почвы/сосуд) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (Витковская и др., 2016). Перед закладкой опыта из каждой делянки была вынута почва на глубину пахотного слоя. По периметру делянок размещали полиэтиленовые сосуды, которые наполняли кислой дерново-подзолистой почвой: $\text{pH}_{\text{KCl}} 4,64 \pm 0,04$, $\text{Нг} 4,11 \pm 0,08$, Ca^{2+} и Mg^{2+} $2,68 \pm 0,14$ и $0,36 \pm 0,06 \frac{1}{2} \text{ ммоль/100г}$ соответственно. Схема опыта: 1) Контроль; 2) ДМ 0,2 Нг; 3) ДМ 0,3 Нг; 4) ДМ 0,4 Нг; 5) ДМ 0,5 Нг; 6) ДМ 0,6 Нг; 7) ДМ 0,7 Нг; 8) ДМ 0,8 Нг; 9) ДМ 0,9 Нг; 10) ДМ 1,5 Нг. Доза доломитовой муки по 1 Нг составила 5,54 т/га. Минеральные удобрения вносили ежегодно, в мае, в каждый сосуд. Суммарная доза внесенных минеральных удобрений за 2012–2016 гг. – N330P250K250 кг д.в./га. Отбор смешанных почвенных проб проводили из каждого сосуда тростевым буром: 1-й отбор до внесения удобрений и мелиоранта – 22 мая 2012 года, далее – через 63; 359; 414; 713; 841; 1078; 1211, 1452, 1575, 1834 суток после закладки опыта (Шаврина, Витковская, 2019). Чередование опытных культур: 2012 г. – викоовсяная смесь; 2013 г. – рапс, 2014 г. – овощные бобы сорта Белорусские; 2015 г. – ячмень сорта Ленинградский, 2016 г. – смесь вики сорта Льговская – 22 и овса сорта Аргомак.

В ходе исследования были выявлены как антагонистические, так и синергетические взаимодействия между элементами. В таблице приведены коэффициенты корреляции, которые отражают зависимости содержания

кальция, магния и цинка в органах викоовсяной смеси от содержания элементов в почве.

Таблица. Коэффициенты корреляции (r)*, характеризующие взаимодействие цинка, кальция и магния в системе «почва – растение»

Зависимость	Вика	Овес солома	Овес колос
Ca(почва) – Ca(растения)	-0,426	-0,770	-0,426
Ca(почва) – Mg(растения)	0,844	0,660	0,763
Ca(почва) – Zn(растения)	-0,854	-0,156	0,235
Mg(почва) – Ca(растения)	-0,648	-0,777	–
Mg(почва) – Mg(растения)	0,862	0,588	0,766
Mg(почва) – Zn(растения)	-0,886	-0,404	–
Zn(почва) – Zn(растения)	0,921	0,270	-0,173

Примечание: r на 5% уровне значимости = 0,632

При увеличении содержания обменных соединений Ca^{2+} и Mg^{2+} в почве в интервале доз ДМ 0-1,5 Нг содержание Zn в растениях вики линейно снижалось (рис. 1).

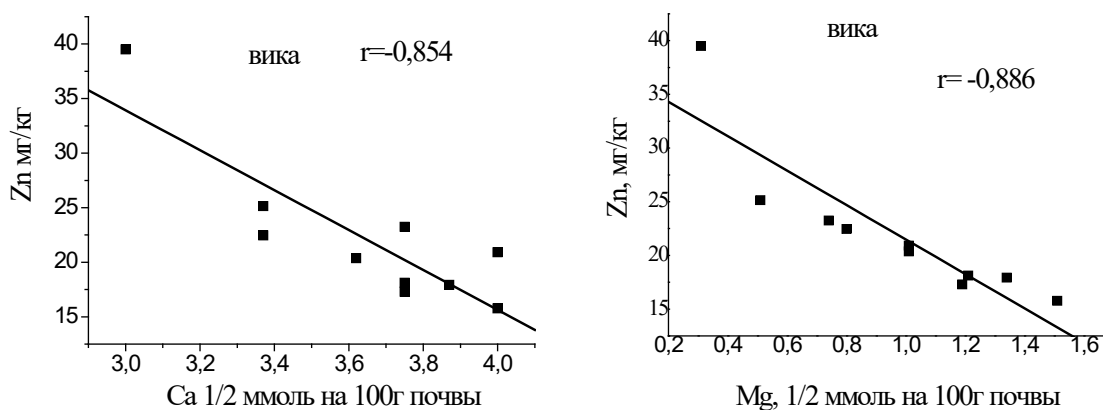


Рис. 1. Зависимость содержания цинка в растениях вики от содержания обменного кальция и магния в почве

Конкурентные связи были установлены между содержанием обменного магния в почве и содержанием цинка в зерне, соломе и половине ячменя. Коэффициенты корреляции по линейным моделям составили $-0,825$, $-0,936$ и $-0,914$ соответственно (критическое значение r на 5% уровне значимости 0,632). На рис. 2 представлена зависимость содержания Zn в соломе ячменя от содержания обменного Mg в почве. Влияние содержания обменного кальция в почве на содержание цинка в органах ячменя отсутствовало.

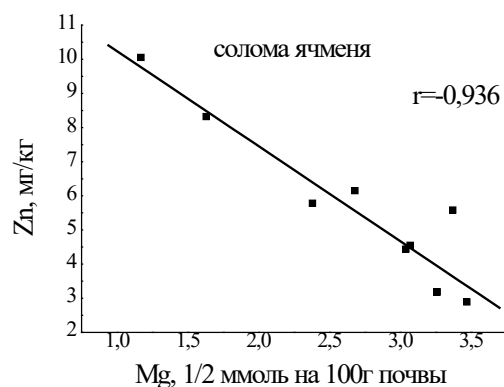


Рис. 2. Зависимость содержания цинка в соломе ячменя от содержания обменного магния в почве

В ходе эксперимента было выявлено конкурентное взаимодействие между Zn и Mg в растениях вики: содержание цинка линейно снижалось с увеличением содержания магния ($r = -0,909$), критическое значение r на 5% уровне значимости 0,632 (рис. 3.).

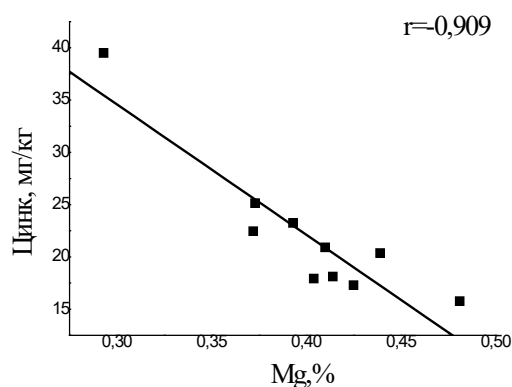


Рис. 3. Зависимость содержания цинка от содержания магния в растениях вики

В ходе исследования были выявлены синергетические связи между кальцием и цинком в растениях овощных бобов и растениях овса (рис.4). При возрастающих дозах ДМ с увеличением содержания кальция в надземной части овощных бобов и в колосьях овса содержание цинка возрастало, коэффициент корреляции по линейной модели $r = 0,806$ и $0,765$ соответственно, критическое значение r на 5% уровне значимости 0,632.

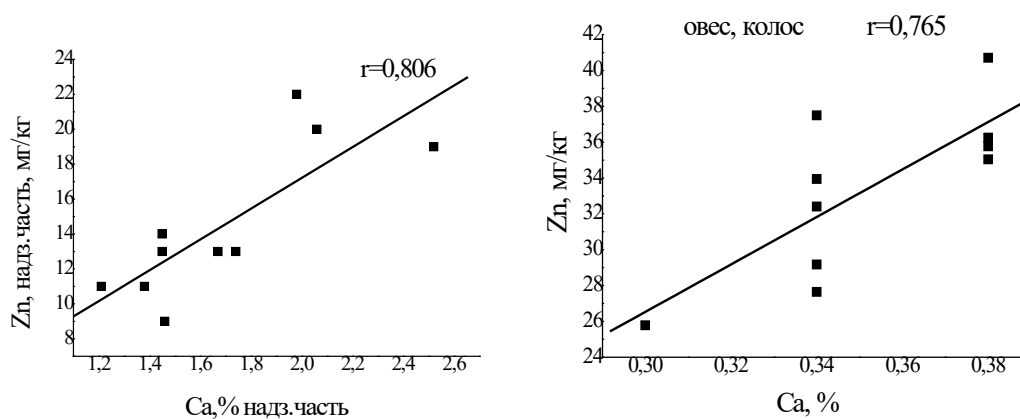


Рис. 4. Зависимость содержания цинка в растениях овощных бобов и в колосьях овса от содержания кальция

В ходе исследования получены данные, свидетельствующие о проявлении антагонизма между ионами цинка, кальция и магния на примере различных сельскохозяйственных культур. Выявлено, что при возрастающих дозах доломитовой муки конкурентные взаимодействия Mg-Zn в системе почва-растение проявляются интенсивнее, чем взаимодействия Ca-Zn (Шаврина, Витковская, 2017). В растениях овощных бобов и растениях овса установлены синергетические взаимодействия между кальцием и цинком.

Список литературы

1. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. 216 с.
2. Аштаб И. В. Взаимодействие цинка с другими элементами как показатель его экологической активности // Агрохимия. 1994. № 11. С. 114–128.
3. Битюцкий Н. П. Микроэлементы и растение. СПб.: Изд-во Санкт.-Петербург. ун-та, 1999. 232 с.
4. Витковская С. Е., Шаврина К. Ф., Яковлев О. Н. Продуктивность растений ячменя и взаимодействие цинка, кальция и магния в системе «почва – растение» при нейтрализации почвенной кислотности доломитовой мукой // Агрохимия. 2020. № 1. С. 51–58.
5. Витковская С. Е., Яковлев О. Н., Шаврина К. Ф. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на кислотнo-основные свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2016. № 7. С. 3–11.
6. Возбуцкая А. Е. Химия почвы. М.: Высш. шк., 1968. 429 с.
7. Гэлстон А., Девис П., Сэттер Р. Жизнь зеленого растения: Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 552 с.
8. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1991. 151 с.
9. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
10. Клебанович Н. В., Василюк Г. В. Известкование почв Беларуси. Мн.: БГУ, 2003. 322 с.

11. Тихомирова В. Я. Влияние свойств почв, удобрений, извести и погодных условий на обеспеченность магнием сельскохозяйственных растений // *Агрохимия*. 2011. № 5. С. 84–89.
12. Черных Н. А., Овчаренко М. М. Тяжелые металлы и радионуклиды в биоценозах. М.: Агроконсалт, 2002. 200 с.
13. Шаврина К. Ф., Витковская С. Е. Влияние возрастающих доз мелиоранта на распределение цинка в системе почва-растение // *Метеорологический вестник*. 2017. Т. 9. № 2. С. 238–241.
14. Шаврина К. Ф., Витковская С. Е. Влияние возрастающих доз мелиоранта на распределение Zn, Ca, Mg в почве и растениях // сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Развитие агропромышленного комплекса на основе современных научных достижений и цифровых технологий». Ч. I. СПб.: СПбГАУ, 2019. С. 94–97.
15. Швартау В. В., Вирыч П. А., Маковейчук Т. И., Артеменко А. Ю. Кальций в растительных клетках // *Вестник Днепропетровского университета*. 2014. 22(1). С. 19–32.
16. Школьник М. Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 324 с.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОРБЦИОННО- СТИМУЛИРУЮЩЕГО ПРЕПАРАТА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

В. С. Шалаев¹, Г. Н. Федотов², И. В. Горепекин²
¹*МГТУ имени Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал);*
²*МГУ им. М. В. Ломоносова*

Было проверено влияние технологических параметров и почв зонального ряда на эффективность применения сорбционно-стимулирующего препарата, состоящего из кальциевого бентонита, гумата, автолизата пивных дрожжей, гиббереллина и полиэтиленгликоля. Проведенные эксперименты не выявили ограничений для его использования в сельском хозяйстве.

STUDYING THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE EFFICIENCY APPLICATION OF SORPTION-STIMULATING PREPARATION USED FOR PRE-SOWING TREATMENT OF SPRING WHEAT SEEDS

Shalaev V.S.¹, Fedotov G.N.², Gorepekin I.V.²
¹*Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch);*
²*Lomonosov Moscow State University*

The stimulating preparation for pre-sowing seed treatment of spring wheat was created on the base of studying the soil allelotoxicity phenomenon and decreasing its adverse influence on seed germination. It consists of calcium bentonite (CB), potassium (sodium) humate (H), brewer's yeast autolysate (BYA), gibberellin (Gibb), and polyethylene glycol (PEG).

Influence of the following technological parameters it is necessary to study for the preparation introduction into the practice of agriculture: water hardness; time elapsed from the prep of the drug solution to the treatment of seeds; storage time of seeds treated with the drug; introduction of fungicides into the solution of the drug; the sowing of treated seeds on various soils.

Spring wheat seeds of the «Lisa» cultivar were used for the research. Samples of 3 sod-podzolic soils, gray forest soil and chernozem were taken as substrates.

To increase the reproducibility of the received data the change in the total length of seedlings 7.5 g of seeds (~200) was determined using the express method based on the existence of a linear relationship between the bulk volume of germinated seeds in water and the length of their seedlings.

Conducted experiments showed that water hardness has no negative influence on application efficiency of preparation.

Seed treatment with the drug should be carried out not immediately after its preparation but after a few hours. It is related apparently with the fact that it takes time for the clay particles of bentonite to disintegrate. It should be noted also that the prepared solution does not lose its effectiveness during 3-week storage and stimulating effects for treated seeds preserve up to the 2 months.

Application of fungicides used for the pre-sowing treatment of seeds in conjunction with sorption-stimulating preparation does not have a significant negative effect on the effect of stimulation compared with seeds treated only with fungicides.

Action effectiveness of developed stimulant preserves on all studied soil samples regardless of their type, prehistory and allelotoxicity.

Thus, verifying the influence of technological parameters and soils of the zonal row on application efficiency of developed composition does not reveal the restrictions for its agricultural use.

На основе изучения явления аллелотоксичности почв и снижения его негативного влияния на прорастание семян был разработан препарат-стимулятор для предпосевной обработки семян яровой пшеницы. В его состав входит кальциевый бентонит (БК), гумат калия (натрия) (Г), автолизат пивных дрожжей (АПД), гиббереллин (Гибб) и полиэтиленгликоль (ПЭГ).

Было показано, что эффективность применения разработанного состава, определяемая посредством измерения суммарной длины проростков массива семян, достигает 55% для отдельных сортов яровой пшеницы.

Для внедрения препарата в практику сельского хозяйства было необходимо изучить влияние на эффективность его применения следующих технологических параметров: жесткости воды; времени, прошедшего от приготовления раствора препарата до обработки им семян; времени хранения обработанных препаратом семян; введения в раствор препарата фунгицидов; посева обработанных семян на различных почвах.

В работе использовали семена яровой пшеницы (*Triticum*) сорт «Лиза» урожая 2018 года. Проращивание семян проводили в образцах следующих почв: окультуренная дерново-подзолистая глубоко-подзолистая глубокопахотная легкосуглинистая почва на покровных суглинках, подстилаемых флювиогляциалом, после горчицы (2) (Московская область, Чашниково); дерново-неглубокоподзолистая освоенная глубокопахотная легкосуглинистая почва на покровных суглинках, подстилаемых мореной, залежь с 2015 г. (5) (Московская область, Чашниково); агродерново-глубокоподзолистая супесчаная на водно-ледниковых (древнеозерных) отложениях почва, подстилаемая с

глубины 92 см бескарбонатными лёссовидными (покровными) суглинками (9) (окрестности поймы р. Яхрома, Московская область).

В экспериментах также использовали образцы серой лесной освоенной со вторым гумусовым горизонтом высококовскипающей среднесуглинистой почвы на лёссовидных карбонатных суглинках, залежь (10) и после пшеницы (11) из окрестностей г. Суздаль (поля Владимирского НИИСХ), а также чернозема выщелоченного на среднемощного среднесуглинистого на лёссовидном суглинке, после пшеницы¹ Орловская область (12).

Свойства дерново-подзолистых и серых лесных почв были определены ранее (Окорков, 2006; Федотов и др., 2020).

Для защитного действия семян от почвенных аллелотоксинов использовали гумат калия (Г), произведенный ООО НВЦ «Агротехнологии» (Россия) из бурого угля, и бентонит кальция (БК) по ОСТ 18-49-71 (Россия). Для блокирования активных центров глино-гумусового комплекса, способных поглощать БАВ, поступающие из почвы в семена, использовали АПД, произведенный ООО «Биотех плюс» (Россия). Применяли суспензии сорбционного препарата, содержащие БК – 40 г/л, Г – 10 г/л, АПД – 12 г/л. В качестве компонентов сорбционно-стимулирующего препарата использовали также гиббереллин 90%-й (Гибб) и полиэтиленгликоль (ПЭГ) с молекулярной массой 400 у. е. в концентрации 300 мг/л.

Обработку семян проводили полусухим способом при расходе 40 литров раствора на тонну семян.

Для повышения воспроизводимости получаемых данных изучали изменение интегральной длины проростков 7,5 г семян (~200 шт.), которую определяли, используя экспресс-метод, основанный на существовании линейной

¹Свойства чернозема были определены агрохимической службой: рН – 5.1; P₂O₅ – 15.3 мг/100 г; K₂O – 14.0 мг/100 г; Гумус – 5.58 %; В – 0.97 мг/100 г; Mg – 7.42 мг/100 г; Zn – 0.86 мг/ ; Cu – 0.47 мг/100 г; Mn – 20.5 мг/100 г; S – 6.7 мг/100 г.

зависимости между насыпным объемом проросших семян в воде и длиной их проростков (Федотов и др., 2019).

Для определения воздействия почв на развитие семян (аллелотоксичности почв) проводили сравнительные испытания по развитию проростков семян в песке и почвах, принимая за 100% развитие семян в песке и рассчитывая относительно этого значения замедление или ускорение развития проростков семян почвой.

Применяли шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. В связи с использованием в одном опыте 1000-1200 семян удавалось минимизировать ошибку, связанную с разнокачественностью семян до 7%.

Для моделирования жесткости воды в дистиллированную воду добавляли нитрат кальция.

Для изучения влияния времени хранения приготовленных растворов и обработанных семян на эффект стимуляции их выдерживали при температуре 27–28°C.

Для изучения влияния фунгицидов на начальную стадию развития растений из семян использовали фунгициды: Тебу-60, Раксил Ультра, Ламадор, Баритон, Иншур перформ, а также биофунгицид Фитоспорин-М при рекомендуемых для их применения для предпосевной обработки семян расходах препаратов. Для биофунгицидов Алирин, Гамаир и Глиокладин расход препаратов был взят по аналогии с применением Фитоспорина-М. Их применяли, обрабатывая семена растворами фунгицидов или растворами, содержащими фунгицид и стимулятор.

Было проверено влияние жесткости воды, в которой готовят препарат, времени, прошедшего от приготовления раствора препарата до обработки им семян, и времени, прошедшего от обработки семян препаратом до их посева.

Из полученных данных (табл. 1) хорошо видно, что жесткость воды не влияет на эффективность применения препарата. Обращает на себя внимание, что обработку необходимо проводить не сразу после приготовления раствора

препарата, а через несколько часов (табл. 1). Связано это, по-видимому, с тем, что нужно время для распада глинистых частиц бентонита. Необходимо также отметить, что состав не теряет своей эффективности при хранении раствора в течение 3 недель, а эффект стимуляции при хранении обработанных препаратом семян сохраняется на протяжении до двух месяцев. Последнее имеет большое значение, так как позволяет проводить обработку семян заранее, а не в период сева, когда в условиях производства это представляет определенные сложности.

Таблица 1. Влияние различных параметров обработки семян яровой пшеницы сорт «Лиза» сорбционно-стимулирующим препаратом (БК-Г-АПД-Гибб-ПЭГ) на величину стимуляции начальной стадии развития из них растений на дерново-подзолистой почве (9)

Изучаемый параметр	Величина параметра, мг/л по Ca ²⁺ (характеристика жесткости)	Величина эффективности стимуляции, %
Жесткость воды	130 (вода средней жесткости)	36±3
	250 (вода очень жесткая)	36±5
Время, прошедшее после приготовления раствора	1 час	23±3
	2 часа	31±3
	4 часа	36±5
	6 часов	36±4
	1 сутки	36±4
	4 суток	36±5
	8 суток	36±4
	3 недели	30±4
Время, прошедшее после обработки семян раствором	0–6 часов	36±5
	3 суток	36±4
	7 суток	36±5
	1 месяц	36±4
	2 месяца	36±4

Применение фунгицидов, используемых для предпосевной обработки семян совместно с сорбционно-стимулирующим препаратом, не оказывает значимого негативного влияния на эффект стимуляции в сравнении с семенами обработанными только фунгицидами (табл. 2). Величина эффекта от действия сорбционно-стимулирующего препарата сохраняется при использовании

химических и биологических фунгицидов. Все это открывает большие возможности для его внедрения в практику сельского хозяйства.

Таблица 2. Влияние обработки фунгицидами и сорбционно-стимулирующим препаратом (БК-Г-АПД-Гибб-ПЭГ) семян яровой пшеницы сорт «Лиза» при посеве в дерново-подзолистую почву (9) на начальную стадию развития растений

Фунгицид	Семена, обработанные стимулятором и фунгицидами, в сравнении с семенами, обработанными стимулятором, %	Семена, обработанные фунгицидами, в сравнении с необработанными семенами, %	Семена, обработанные стимулятором и фунгицидами, в сравнении с семенами, обработанными только фунгицидами, %
Тебу 60	-35	-43	+31
Раксил ультра	-21	-26	+33
Ламадор	-26	-37	+37
Иншур перформ	-36	-45	+31
Баритон	-55	-71	+32
Фитоспорин М	+3	0	+37
Алирин	0	+4	+33
Гамаир	0	+6	+31
Глиокладин	+6	+5	+38

На последнем этапе работы было необходимо проверить эффективность использования разработанного препарата на различных почвах. Причем лабораторные эксперименты должны были быть максимально приближены к реальным условиям, в которых обязательным этапом производственного процесса является протравливание семян фунгицидами.

Как хорошо видно из представленных результатов (табл. 3), эффективность действия разработанного стимулятора сохраняется на всех изученных образцах почв вне зависимости от их типа, предыстории и аллелотоксичности (воздействия почвы, %).

Таблица 3. Воздействие почвы на семена и влияние предпосевной обработки фунгицидом «Ламадор» и сорбционно-стимулирующим препаратом (БК-Г-АПД-Гибб-ПЭГ) семян яровой пшеницы сорт «Лиза» при посеве в различные образцы почв на начальную стадию развития растений

Почва	Воздействие почвы, %	Действие стимулятора на семена, необработанные фунгицидом, %	Действие стимулятора на семена, обработанные фунгицидом, %
Д-п почва (2)	-33 ± 4	+36 ± 4	+46 ± 5
Д-п почва (5)	-11 ± 3	+38 ± 4	+56 ± 6
Д-п почва (9)	+23 ± 3	+35 ± 4	+37 ± 4
С-л почва (10)	+25 ± 3	+15 ± 3	+28 ± 4
С-л почва (11)	0 ± 2	+20 ± 3	+51 ± 5
Чернозем (12)	+24 ± 3	+16 ± 3	+33 ± 4

Таким образом, проверка влияния технологических параметров и почв зонального ряда на эффективность применения разработанного состава не выявила ограничений для его использования в сельском хозяйстве.

Список литературы

1. Окорков В.В. Удобрения и плодородие серых лесных почв Владимирского ополья. – Владимир: ВООО ВОИ, 2006. – 356 с.
2. Федотов Г.Н., Горепекин И.В., Позднякова А.Д., Завгородняя Ю.А., Исакова С.А. Взаимосвязь предыстории и химических свойств почв с их аллелотоксичностью // Почвоведение. 2020. № 3. С. 379-386.
3. Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф., Горепекин И.В. Влияние аллелотоксичности почв на прорастание семян зерновых культур // Почвоведение. 2019. № 4. С. 489–496.

ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФИТОСАНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РФ

А. М. Шпанев, В. В. Смук М. А., Фесенко

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

По результатам многолетних исследований выявлены основные отрицательные изменения в фитосанитарном состоянии посевов зерновых культур при применении минеральных удобрений на Северо-Западе России. Они выражались в увеличении начальной засоренности посевов малолетними видами сорных растений, усилении развития листостеблевых болезней и семенной инфекции. Кроме того, при внесении полного минерального или азотных удобрений происходило увеличение вредоносности всех групп вредных организмов и рост потерь урожая.

NEGATIVE IMPACT OF MINERAL FERTILIZERS ON THE PHYTOSANITARY CONDITION OF GRAIN CROPS IN THE NORTH- WESTERN REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION

A. M. Shpanev, V. V. Smuk, M. A Fesenko

Agrophysical Research Institute

According to the results of long-term research on the experimental fields of the Menkovsky branch of the Agrophysical research Institute, the main negative changes in the phytosanitary condition of grain crops when using mineral fertilizers in the North-West of Russia were identified. They were expressed in an increase in the initial infestation of crops with juvenile weed species, which in winter rye crops was 2.3 times in number and 2.9-3.2 times in projected coverage, spring barley – 1.3 times in number and 1.6-2.3 times in phytomass. In spring wheat crops, weeds clearly responded to the application of the lowest dose of nitrogen fertilizers, equal to N₃₀. Compared with the control, the growth in the number of weeds was 20.9% for the Krasnoufimskaya 100 variety, 12.9% – for the Darya variety, and the projective coverage of weeds increased from 16.3 to 21.4 and from 19.3 to 24.2%, respectively. Under the influence of mineral fertilizers, the defeat of grain crops by leaf diseases, especially powdery mildew, increased. In addition, there was an increase in the presence of seed infection in the harvested crop, including potentially dangerous ones due to the content of mycotoxins of *Fusarium* fungi. When you make or full of mineral nitrogen fertilizers was on the increase, the harmfulness of all groups of pests and increase crop losses, indicating the need for the whole complex of protective measures under integrated protection of grain crops in the North-West of Russia.

По результатам исследований, проводимых на полях Меньковского филиала Агрофизического НИИ в период 2010–2019 гг., выявлены отрицательные изменения в фитосанитарном состоянии агробиоценозов зерновых культур под влиянием вносимых минеральных удобрений на Северо-Западе России.

Отрицательные последствия от внесения минеральных удобрений проявляются в существенном увеличении начальной засоренности посевов. Увеличение засоренности посевов озимой ржи в фазу выхода в трубку культуры составляло 2.3 раза по численности и 2.9-3.2 раза по проективному покрытию соответственно на среднем ($N_{65}P_{50}K_{50}$) и высоком ($N_{100}P_{75}K_{75}$) фоне минерального питания. При этом проективное покрытие сорных растений достигало 9.6–10.7%, т.е. соответствовало пороговому уровню засоренности, когда целесообразной становится проведение гербицидной обработки. Под влиянием удобрений увеличивалась фитомасса сорных растений, которая в пересчете на 1 экз. наибольшей величины достигала на варианте с максимально высокой дозой. В тоже время на удобренных делянках, в отличие от неудобренных, не наблюдалось роста численного состава сорных растений за весенне-летний период вегетации озимой ржи (Шпанев, Фесенко, 2019).

В посевах ярового ячменя проективное покрытие сорной растительности увеличивалось под действием удобрений в 1.3 раза, а усредненная фитомасса одного сорного растения в 1.6–2.3 раза. При этом важно уточнить, что под влиянием удобрений увеличивалась начальная засоренность посевов ярового ячменя малолетними видами сорных растений, в особенности отзывчивыми на азотное питание марью белой (с 77 до 159 и 197 экз./м²) и пикульником (с 15 до 25 и 31 экз./м²). Обратную закономерность можно отметить для торицы полевой, которая относится к группе оксилофитов – растений, предпочитающих кислую реакцию почвенного раствора. Более высокая численность данного вида наблюдалась в варианте, где не было предусмотрено внесение минеральных удобрений (27 против 28 и 38 экз./м²). При повышении уровня минерального питания в 2.0–3.7 раза снижалась плотность присутствия в посевах ярового ячменя многолетних видов сорных растений (Шпанев и др., 2019а). Предположительно это происходило под действием усиливающегося фитоценотического давления со стороны культурных растений, фиксируемом при систематическом применении минеральных удобрений в севообороте, и отмечаемом в литературе (Рогожникова, Шпанев, 2014; Шпанев и др., 2017).

Подтверждение этому можно найти при анализе наших данных. Так, на варианте использования средних доз минеральных удобрений снижение численного состава сорных растений за период от фазы кущения до полной спелости ярового ячменя составляло 28.1%, при применении высоких доз – 44%. На неудобренном варианте общая засоренность посевов ярового ячменя за указанный период оставалась без изменений, а густота многолетних сорных растений увеличивалась в 2.7 раза.

Предпосевное внесение азотных удобрений не приводило к достоверному росту засоренности посевов яровой пшеницы, хотя некоторое увеличение числа и проективного покрытия сорных растений все же просматривалось. В наших опытах также было зафиксировано, что сорные растения четко реагировали на внесение самой низкой дозы азотных удобрений, равной N_{30} . По сравнению с контролем рост численного состава сорных растений по усредненным данным составлял 96 экз./м² или 20.9% на сорте Красноуфимская 100, 44 экз./м² или 12.9% – на сорте Дарья. Проективное покрытие сорных растений увеличивалось с 16.3 до 21.4 и с 19.3 до 24.2% соответственно. На повышение в пахотном горизонте доступного азота положительно реагировали марь белая, ярутка полевая, пикульники, отрицательно – торица полевая, пастушья сумка. Остальные массовые виды сорняков проявили нейтральную реакцию, их численность слабо изменялась под влиянием разных доз азотных удобрений (Шпанев, 2016).

Под действием полного минерального удобрения складывались благоприятные условия по увлажнению, температуре и освещенности для поражения растений зерновых культур листостеблевыми болезнями. Так, в фазу налива зерна озимой ржи на удобренных вариантах фиксировались достоверно более высокие показатели развития ринхоспориоза (на 18-41%), мучнистой росы (в 3.0-4.3 раза) и стеблевой ржавчины (на 17–43%) (Шпанев и др., 2019б).

В посевах ярового ячменя просматривалось усиление поражения растений мучнистой росой (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *hordei* Marchal.), на удобренных вариантах опыта. В отдельные годы те же последствия от внесения

минеральных удобрений были характерны для ринхоспориоза (*Rhynchosporium secalis* (Oudem.) J. J. Davis) и гельминтоспориозных пятнистостей (*Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur), развитие которых возрастало с 0.01–0.04 и 1.0–1.6% на контроле до 0.10–0.39 и 2.4–4.9% на максимально удобренном варианте (Шпанев и др., 2020).

Особенно сильные и достоверные изменения наблюдались под влиянием азотного питания в развитии мучнистой росы, которая в зависимости от сорта яровой пшеницы на делянках с высоким уровнем азотного питания имела в 6–16 раз более высокие показатели, чем с низким. В опыте с озимой пшеницей на делянках с высоким уровнем азотного питания доля пораженных листьев данным заболеванием имела в 2.3 раза более высокие показатели, чем с низким. Поражение яровой пшеницы септориозом существенно возрастало уже при средних дозах азотных удобрений (Шпанев и др., 2015). Как показали наши данные, под влиянием очень высоких доз азотных удобрений культурные растения формируют излишнюю вегетативную массу, что приводит к полеганию посевов и еще большему поражению колосьев септориозом. Так, в посеве сорта Дарья на неудобренных вариантах развитие септориоза колоса составляло 2.4%, при дозе N_{30} – 7.9%, N_{60} – 10%, N_{90} – 18.2%, а при N_{180} оно достигло 24.5%. Проявление бурой ржавчины заметно усиливалось только под действием внесения очень высоких доз азотных удобрений. Согласно данным, полученным на сорте Дарья, на вариантах с низким уровнем азотного питания (N_{0-30}) развитие бурой ржавчины составляло 0.18%, средним (N_{60-90}) – 0.28%, высоким ($N_{120-150}$) – 0.30%, очень высоким (N_{180}) – 1.05% (Шпанев, 2016).

Под действием азотных удобрений существенно возрастало поражение колосьев озимой пшеницы септориозом. Особенно сильно это проявлялось при внесении высоких доз, что приводило к формированию излишней вегетативной массы и полеганию посевов. Как показали данные, развитие болезни усиливалось уже при внесении самой малой дозы N_{30} (36.7%, на контроле – 30.3%) и еще более при внесении N_{90-150} (48.2–48.6%) (Шпанев, Смуk, 2019).

Под действием возрастающих доз минеральных удобрений увеличивалась доля зерен, пораженных семенной инфекцией, а именно грибами pp. *Alternaria* и *Fusarium*, видами *Epicoccum purpurascens* и *Cladosporium herbarum* (Шпанев, Денисюк, 2019). При этом в отдельные годы зараженность зерна убранного урожая ярового ячменя наиболее опасными фузариевыми грибами возрастала в 2.9–3.6 раза. Влияние минеральных удобрений на зараженность зерна было связано с изменением микроклимата в благоприятную для патогенов сторону с повышенной влажностью и сравнительно стабильным температурным фоном, а также с полеганием посевов.

Отрицательные последствия внесения минеральных удобрений выражаются в более сильном повреждении флагового и 1-го подфлагового листьев зерновых культур личинками пядицы, минирующих мух и листовых пилильщиков (Шпанев, 2016; Шпанев, Смук, 2019).

Влияние минеральных удобрений распространялось не только на количественные показатели присутствия вредных организмов, но и на их способность причинять вред зерновым культурам. При этом отмечалось повышение хозяйственной значимости всех групп вредных организмов, включая сорные растения, вредители и болезни (Шпанев, 2016). Хорошо развитые сорные растения на делянках с высоким уровнем азотного питания отличались в 2.8 (озимая пшеница) и 3.5 (яровая пшеница) раза более высокой вредоспособностью, чем сорняки на делянках с низким уровнем азотного питания. Коэффициенты вредоспособности сорных растений, показывающие снижение урожая культуры от 1% проективного покрытия, были равны в посевах озимой пшеницы –0.50 и –0.18%, яровой пшеницы – –0.49 и –0.14%. Под действием азотных удобрений усиливалась также вредоносность болезней яровой пшеницы. Сравнение вариантов с низким и высоким уровнем азотного питания показало, что различия в потерях урожая между ними составили 12.3%. Таким образом, при внесении высоких доз азотных удобрений происходило значительно более сильное снижение урожая яровой пшеницы от всего комплекса вредных объектов, которое достигало 20.1%.

Выявленные изменения в фитосанитарной обстановке посевов зерновых культур под влиянием минеральных удобрений сказывались на хозяйственной и экономической эффективности интегрированных систем защиты, что можно видеть в соответствующих разработках (Лаптиев и др., 2013; Шпанев и др., 2015, 2017, 2018, 2019в).

Список литературы

Лаптиев А.Б., Шпанев А.М., Гончаров Н.Р., Лекомцев П.В., Воропаев В.В. Региональная система интегрированной защиты продовольственных посевов пшеницы яровой от вредных организмов на северо-западе Нечерноземной зоны. СПб., 2013. 24 с.

Рогожникова Е.С., Шпанев А.М. Засоренность ячменя с подсевом многолетних трав при разных уровнях минерального питания // Вестник защиты растений. 2014. № 4. С. 49–51.

Шпанев А.М., Лаптиев А.Б., Гончаров Н.Р., Воропаев В.В. Защита яровой пшеницы на северо-западе Нечерноземья // Защита и карантин растений. 2015. № 6. С. 14–17.

Шпанев А.М. Влияние азотных удобрений на фитосанитарное состояние и потери урожая яровой пшеницы от вредных организмов в Северо-Западном регионе // Агрехимия. 2016. № 9. С. 62–69.

Шпанев А.М., Смук В.В., Фесенко М.А. Фитосанитарный эффект применения минеральных удобрений на посадках картофеля в Северо-Западном регионе // Агрехимия. 2017. № 12. С. 38–45.

Шпанев А.М., Лаптиев А.Б., Гончаров Н.Р., Голубев А.С., Маханькова Т.А., Кунгурцева О.В., Гульяева Е.И., Шипилова Н.П., Лунева Н.Н., Мыслик Е.Н., Баранова О.А., Коваленко Н.М., Гусева О.Г., Лекомцев П.В., Воропаев В.В., Смук В.В. Система интегрированной защиты посевов озимой пшеницы от вредных организмов в Северо-Западном регионе РФ. СПб., 2017. 47 с.

Шпанев А.М., Лаптиев А.Б., Гончаров Н.Р., Голубев А.С., Маханькова Т.А., Гульяева Е.И., Гусева О.Г., Шипилова Н.П., Лунева Н.Н., Мыслик Е.Н., Воропаев В.В., Смук В.В. Система интегрированной защиты посевов озимой ржи от вредных организмов в Северо-Западном регионе РФ. СПб., 2018. 34 с.

Шпанев А.М., Денисюк Е.С. Фитосанитарное состояние фуражного зерна ячменя и определяющие его факторы // Защита и карантин растений. 2019. № 7. С. 38–40.

Шпанев А.М., Фесенко М.А. Влияние предпосевного внесения полного минерального удобрения на фитосанитарное состояние посевов озимой ржи на Северо-Западе России // Вестник защиты растений. 2019. № 3. С. 34–40.

Шпанев А.М., Смук В.В. Влияние азотного питания на фитосанитарное состояние посевов озимой пшеницы в Северо-Западном регионе РФ // Агрехимия. 2019. № 1. С. 58–65.

Шпанев А.М., Фесенко М.А., Смук В.В. Эффективность комплексного применения средств химизации при возделывании ярового ячменя на Северо-Западе РФ // Агрехимия. 2019а. № 12. С. 47–55.

Шпанев А.М., Лаптиев А.Б., Гончаров Н.Р., Воропаев В.В. Интегрированная защита озимой ржи на Северо-Западе России // Защита и карантин растений. 2019б. № 6. С. 9–14.

Шпанев А.М., Лаптиев А.Б., Гончаров Н.Р., Голубев А.С., Маханькова Т.А., Гульяева Е.И., Шипилова Н.П., Лунева Н.Н., Мыслик Е.Н., Лашина Н.М., Гусева О.Г., Смук В.В., Денисюк Е.С., Воропаев В.В. Система интегрированной защиты ячменя ярового от вредных организмов в Северо-Западном регионе РФ. СПб., 2019в. 44 с.

Шпанев А.М., Лаптиев А.Б., Гончаров Н.Р., Воропаев В.В. Интегрированная защита ячменя ярового на Северо-Западе России // Защита и карантин растений. 2020. № 6. С. 30–34.

АГРОЗОМЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ БИОСТИМУЛЯЦИИ ПЕДОБИОНТОВ И УЛУЧШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

П. Г. Витион

*Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений,
Кишинёв, Республика Молдова,*

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова

Аннотация: Исследовано изменение обилия, трофической структуры качественного и количественного состава зоокомплекса педобионтов при использовании органо-минеральных систем удобрения. Проведен сравнительный анализ состава почвенных беспозвоночных животных в севооборотах под различными культурами при разных системах удобрения в зависимости от экологических групп педобионтов. Максимальные количественные биологические показатели педобионтов обнаружены при внесении различных органических удобрений, особенно в варианте с разложившимся навозом, а минимальные показатели при внесении птичьего помёта и навозной жижи.

AGROZOOMELIORATIVE MEASURES FOR BIOSTIMULATION OF PEDOBIONTS AND IMPROVE SOIL FERTILITY

Vition Pntelei

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau, Republic of
Moldova, Ministry of Education, Culture and Research of the Republic of Moldova.*

Abstract: The change in the abundance, trophic structure of the qualitative and quantitative composition of the zoo complex of pedobionts with the use of organomineral fertilization systems was studied. A comparative analysis of the composition of soil invertebrates in crop rotations under different crops with different fertilization systems, depending on the ecological groups of pedobionts, has been carried out. The maximum quantitative biological indicators of pedobionts were revealed when applying various organic fertilizers, especially in the variant where decomposed manure was introduced, and the relatively minimum indicators when applying poultry manure and slurry.

При выращивании разных видов растений со средней урожайностью 6,5–7,8 т/га, вынос питательных веществ (в расчёте на сухое вещество) составляет для азота – 125 кг, фосфора – 43 кг и калия – 135 кг. Совершенно очевидно, что необходимо возвращать эти питательные вещества обратно в почву посредством дополнительного внесения разных органических удобрений и растительных остатков в комплексе с минеральными удобрениями. Мерой для определения количества минеральных и органических удобрений является количество питательных веществ, вынесенных той или иной культуры [5]. Аккумуляция биомассы растительных остатков в почвах является основой воспроизводства комплекса сапрофагов, активное функционирование которых, в свою очередь,

определяет интенсификацию процессов разложения органического материала биомассы растительного и животного происхождения, обогащая почву макро, микроэлементами, гумусом, улучшая структуру почвы (физико-химические свойства) и плодородие. [7].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению влияния различных систем удобрений на педобионты проводились на полях Опытной сельскохозяйственной экспериментальной базы Академии Наук Республики Молдова. Осенью на экспериментальных участках вносили органические удобрения по схеме: 1-й вариант – навоз разложившийся 6 т/га; 2-й вариант – навоз свежий 4 т/га; 3-й вариант – навозная жижа 3 т/га; 4-й вариант – птичий помет 2,5 т/га; 5-й вариант – осадки очистных сооружений 5 т/га; 6-й вариант – озерный ил 6 т/га; 7-й вариант – контроль. В зависимости от площади земель количественные показатели для расчёта доз удобрений экстраполировались для каждого экспериментального участка из расчёта 1 га. Содержание углерода в биомассе растительных остатков определяли по методу Анстета в модификации Пономаревой–Николаевой, содержание фосфора (после озоления) – калориметрическим методом, содержание калия - пламенно-фотометрическим методом, содержание азота – методом Кьельдаля, содержание фосфора в почве - методом Лебедянцева. Для выявления эдафической мезофауны пробы были отобраны с 2-х слоев почвы: на глубине 0–25 см и 25–50 см [2]. Экстракция микрофауны орибатид и коллембол из почвы проводилась с помощью термоэлектратора Tulgren-Berlese; энхитреид - в гидротермоэлектраторах по методу Nilson-Connor (1955) [6] в течение трех часов; нематод – методом Verman и Ovegor-Nilsen [6]. Для обработки полученных результатов применяли метод математической статистики [3]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенные беспозвоночные животные имеет большое значение в разложении органических остатков и в биологическом круговороте веществ и энергии в разных типах почв. Плодородие почвы в агроэкосистемах не может

поддерживаться без деятельности комплекса педобиотов, включая разные таксономические группы почвенных беспозвоночных животных, которые являются обязательными компонентами почв. Внесение органических удобрений и растительных остатков (сидератов) в почву агробиоценозов является одним из главных условий повышения биологической эффективности педобионтов [1].

Таблица 1. Плотность (%) педобинтов при внесении различных органических удобрений

Экологические группы педобионтов	Навоз разложившийся 6 т/га	Навоз свежий 4 т/га	Навозная жижа 3 т/га	Птичий помет 2,5 т/га	Осадки очистных сооружений 5 т/га	Озерный ил 6 т/га	Контроль
Микрофауна	7,0%	3,0%	2,92%	1,8%	4,3%	6,7%	1,4%
Мезофауна	4,36%	2,60%	1,96%	1,5%	2,0%	4,4%	1,2%
Макрофауна	3,43%	1,62%	1,7%	1,0%	1,3%	3,19%	1,0%

Максимальный количественный биологический индекс педобинтов при внесении различных органических удобрений обнаружен в варианте с внесением разложившегося навоза, а относительно минимальный в варианте с внесением птичьего помёта и навозной жижи (табл. 1). В варианте с внесением осадков очистных сооружений микрофауна составляет 4,3%, мезофауна 2,0%, макрофауна 1,3%, а в варианте с внесением озерного ила (донных осадков) микрофауна составила 6,7%, мезофауна 4,4%, макрофауна 3,19%. Внесение навоза способствовало существенному увеличению количественного состава почвенных беспозвоночных животных в изучаемых агроценозах: сапрофагов, нематод, энхитреид, дождевых червей и других таксономических групп педобиотов [7]. Органические и органо-сидератные удобрения, листовая подстилка стимулируют деятельность микроорганизмов, особенно разложение полисахаридов, а почвенные беспозвоночные животные создают условия для образования гумуса, так как лигнин в кишечнике животных отделяется от усвояемых веществ.

Обработка сточными жидкими осадками (300 мм в год) в сочетании с дополнительным внесением фосфорно-калийных удобрений привела к

увеличению содержания гумуса в суглинистых почвах, оказала положительное влияние на сухие неплодородные песчаные почвы, а на тяжелых почвах со временем происходило уменьшение скважности, также наблюдалась положительная динамика численности некоторых таксономических групп педобионтов, особенно микроартропод (клещей и ногохвосток).

Таблица 2. Средняя динамика (%) групп педобионтов под злаково-бобовыми культурами в слое почвы (0–50 см) при разных системах удобрения

Культуры	Микрофауна	Мезофауна	Макрофауна
Пшеница	16,0%	7,0 %	3,0%
Горох	19,0%	9,38%	4,01%
Контрольный вариант	22,0%	11,0%	5,5%
Всего	57,0%	28,0%	14,0%

При выращивании злаково-бобовых культур (табл. 2) максимальная численность педобионтов в почве составляет: микрофауна 57,0%, мезофауна 28,0% и макрофауна 14,0%.

Таблица 3. Динамика численности (%) педобионтов в севооборотах различных сельскохозяйственных культур

Экологические группы педобионтов	Зерновые культуры	Технические культуры	Многолетние кормовые культуры	Овощные культуры	Контроль пашня
Микрофауна	15,2%	11,0%	18,3%	13, 0%	1,6%
Мезофауна	6,9%	4,0%	10,4%	4,69%	1,3%
Макрофауна	6,9%	2,18%	4,0%	2,55%	1,1%

Максимальная численность педобионтов зарегистрирована в севооборотах многолетних кормовых культур (люцерна, клевер), и бобовых культур (горох, фасоль и др.), а минимальная в посевах подсолнечника. При выращивании сахарной свеклы динамика численности почвенных беспозвоночных животных характеризуется средними значениями индекса биологического показателя. Для поддержания интенсивной жизнедеятельности почвенных беспозвоночных животных необходимо учитывать совместимость культур, например кормовых и пропашных (табл. 3). Использование в севооборотах многолетних трав с более продолжительным периодом отсутствия обработки почвы, большим

поступлением в почву органических веществ растительного происхождения, обилием педобионтов, приводит к повышению содержания гумуса в почве. При формировании структуры севооборотов необходимо удовлетворять пищевые предпочтения эдафических организмов не только количеством, но и качеством корневых и других послеуборочных остатков (табл. 4), участвующих в формировании гумуса [4].

Таблица 4. **Численность (%) эдафических организмов на корневых остатках растений**

Группы педобионтов	На свежих корневых остатках	На среднеразложившихся послеуборочных остатках	На сильно разложившихся послеуборочных остатках	Контроль
Микрофауна	13,6%	27,7%	8,2%	2,77%
Мезофауна	6,82%	14,0%	6,46%	1,38%
Макрофауна	4,6%	17,39%	3,82%	1,0%

Таблица 5. **Средняя динамика (%) групп педобионтов в слое почвы (0-50 см) после разных предшественников сельскохозяйственных культур**

Предшественники сельскохозяйственных культур	Микрофауна	Мезофауна	Макрофауна
Кукуруза	6.0%	3.0%	2.8%
Соя	9.2%	3.4%	3.3%
Сорго	6.3%	4.0%	2.0%
Подсолнечник	3.1%	1.7%	1.0%
Пшеница	10.0%	5.0%	4.0%
Овощные культуры	8.0%	4.2%	2.2%
Эфиромасличные культуры (шалфей, лаванда и др.)	5.2%	2.6%	1.5%
Контроль (пашня)	1.4%	0.9%	0.65%

Максимальная динамика численности педобионтов наблюдалась после следующих сельскохозяйственных культур: пшеницы, сои, кукурузы, а минимальная – в контрольном варианте (пашня) (табл. 5). По результатам исследований 2017 года динамика количественного состава педобионтов в почве в варианте с внесением компостируемого осадка очистных сооружений в посевах сои характеризовалась следующими значениями: 35.5% микрофауна, 22.2% мезофауна, 8.8% макрофауна. В 2018 году на том же экспериментальном

участке выращивалась пшеница без внесения удобрения. Динамика количественного состава педобионтов характеризовалась следующими значениями: 37% микрофауна, 25% мезофауна, 12% макрофауна. Экспериментальный участок с посевом сои без внесения компостируемого осадка очистных сооружений характеризовался следующими значениями: 18.8% микрофауна, 10% мезофауна, 4.4% макрофауна, а с посевом пшеницы: 14% микрофауна, 7.87% мезофауна, макрофауна-3.25%. Количественный и качественный состав почвенных беспозвоночных животных увеличился в 1.8–2.0 раза при внесении в почву органических и органо – сидератных удобрений.

Таблица 6. Валовое содержание некоторых химических элементов и соотношение C:N в растительных остатках злаковых культур

Биомасса злаковых культур	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C:N
Растительные остатки злаковых культур	% на воздушно сухое вещество				
	36,8	0,47	0,18	1,19	7,3
Почва	4,0	0,41	0,22	2,25	9,0

Если в почве содержится минимальное количество азота, биомасса растительных остатков злаковых культур разлагается медленно и следует вносить растительные остатки бобовых растений, которые нормализуют количественное отношение между C:N (табл. 6).

ВЫВОДЫ

Количественный и качественный состав почвенных беспозвоночных животных увеличивается в 1,8–2,0 раза при внесении в почву органических и органо – сидератных удобрений. В почве при внесении органических удобрений и растительных остатков злаковых и бобовых культур накапливались элементы питания, снижалась кислотность, увеличивалась поглощающая способность и буферность, улучшались биологические, химические и физические свойства почвы.

Максимальный тренд педобионтов зарегистрирован в севооборотах многолетних кормовых культур (в посевах люцерны и клевера), бобовых культур (в посевах гороха и фасоли), а минимальный - в посевах подсолнечника. Для поддержания интенсивной жизнедеятельности почвенных беспозвоночных

животных необходимо учитывать совместимость кормовых и пропашных культур. Злаково-бобовые травосмеси при заделке (запахивании) в почву увеличивает в 1-1,5 раза качественный и количественный состав педобионтов.

Агротехнические мероприятия оказывают отрицательное влияние на биоразнообразии таксономического состава и численности почвенной фауны. В аспекте многолетней динамики определены тренды изменения видового состава, уменьшения биомассы, численности педобионтов в структуре сообществ.

Список литературы

1. Витион П.Г. Воздействие различных систем удобрения на динамику численности комплекса педобионтов // Агрехимия. 2016. № 9. С. 70–77.
2. Гиляров М.С., Стриганова Б.Р. Количественные методы в почвенной зоологии. М.: Наука, 1987. 287 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.
4. Kohnlein J., Die Phosphorsaure, 15,15-30,1955.
5. Kohnlein J., Knauer N., PflErnahr., Diing., Bodenrd., 81, 1–23, 1958.
6. Nielsen C.O. // Oiros, 12, 17–35, 1961.
7. Vition P. Acțiunea îngrășămintelor minerale și agrotehnicii asupra edafobiotei din asolamentele culturilor de câmp. Materialele Conferinei Științifice-practice consacrate aniversării a 70-a a fondării I.C.C.C. «Selectia» Rezultatele și perspectivele cercetărilor la cultura plantelor de câmp, Bălți, 20 iunie 2014, Chișinău, p. 348–353.

ПРОДУКЦИОННО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПЕДОБИОНТОВ В БИОДЕСТРУКЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ ПОЧВ

П. Г. Витион

*Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений,
Кишинэу, Республика Молдова,*

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова

Аннотация: Приведены результаты исследования участия почвенных беспозвоночных животных сапрофагов в почвенных продукционно-биологических процессах.

PRODUCTION AND BIOLOGICAL IMPORTANCE OF PEDOBIONTS IN BIODESTRUCTION OF VARIOUS ORGANIC SOIL RESIDUES

Vition Pntelei

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,
Chisinau, Republic of Moldova, Ministry of Education,
Culture and Research of the Republic of Moldova*

Abstract: The results of a study of the participation of soil invertebrate animals of saprophages in production and biological processes of soils are presented.

Введение

Гелиоавтотрофы – зелёные растения, синезелёные водоросли – это продуценты, которые создают органические вещества из неорганических, а гетеротрофные организмы поглощают эти вещества (как консументы), преобразуя их и разлагая (как редуценты) на более простые составные части, которые снова доступны для зеленых растений. По отношению к звеньям этой цепи питания, было бы неправильно рассматривать животных лишь как консументов, а бактерий – как редуцентов, так как все гетеротрофные организмы используют потребляемые ими вещества для построения собственного организма и для поддержания жизненных процессов, разлагая их снова в CO₂, NH₃, CO (NH₂) и т.д. Органическое вещество является важнейшим компонентом, выполняющим многочисленные эколого-биосферные и биогеоценотические функции в формировании почв и регулировании уровня плодородия [3]. Травянистые растения подвержены максимальному разложению под влиянием различных факторов окружающей среды [2]. Степень разложения осоки, хвоща, рогозы, папоротника, листовенного опада составляет 56.2% (в среднем, в течение

пяти лет) [2]. Мхи, лишайники, древесные растения относятся к группе трудно разлагающихся. [2].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению участия почвенных беспозвоночных животных сапрофагов в почвенных продукционно-биологических процессах проводились в течение 1992–2017 гг. в различных географических зонах на территории Республики Молдова во всех экосистемах с разными типами почв: 1. Северная зона – лесной природный заповедник (Пэдуреа Домнеаскэ), 2. Центральная зона – заповедники (Кодры и Плаюл Фагулуй), 3. Южная зона – (Прутул де жос) и дополнительно в различных типах лесов и пойменных лугов малых рек. Параллельно проводились исследования в других экосистемах: степь, луг, низовые пойменные луга на р. Днестр и р. Прут, в дельте р. Дунай. Педозоологические обследования почв проводились в 1990 г. В длительных стационарах полевых и природных условиях схема опытов имела следующие варианты: 1. Серая лесная почва (Заповедник Кодры) с лесными биотопами род *Quercus* (биомасса подстилки род *Quercus*); 2. Бурая лесная почва (Заповедник Кодры) с лесными биотопами род *Fagus* (биомасса подстилки род *Fagus*); 3. Чернозем карбонатный, степь с разными видами спонтанной флоры злаковых и бобовых растений, (биомасса подстилки из злаковых и бобовых растений); 4. Чернозем луговой с разными видами луговых растений (биомасса подстилки с растительными остатками луговых растений) и пойменно-луговые почвы; 5. Чернозем обыкновенный с посевом пшеницы. Для определения численности эдафической фауны пробы отбирали с 2-х слоев почвы: на глубине 0–25 см и 25–50 см [1].

Для изучения распределения микрофауны, и отдельных фаз мезофауны эдафических насекомых в почве, а также для выяснения некоторых особенностей фенологии массовых видов был использован метод анализа почвенных проб [1]. Почвенные разрезы готовили по стандартной методике площадью 0,5 м² [1], образцы разбирали послойно вручную. Проводились и визуальные обследования на поверхности почвы для определения состава мезофауны и макрофауны

почвенных насекомых [4]. Извлечение микроартропод из почвенных проб проводили при помощи термоэлектратора Берлезе-Тулъгрена [5]. В экстракции энхитреид из почвы использовали гидротермоэлектраторы по методу Nilson – Connor, нематод по методом Berman и Ovegor-Nilsen. [5]. Учет проводился в 1992–2017 гг. с марта по ноябрь.

Цель работы – определить функциональное значение почвенных беспозвоночных животных сапрофагов как продуцентов гумуса в процессах деструкции различных видов растительных остатков для разных типов почв.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В географических зонах на территории Республики Молдова с различными типами почв и экосистемами эдафический зоокомплекс формируют представители следующих таксономических групп почвенных беспозвоночных животных: Nematoda, Enchytraeidae, Lumbricidae, Chilopoda, Diplopoda, Symphyla, Paupoda, Isopoda, Collembola, Oribatida, Carabidae, Scarabaeidae, Staphylinidae, Elateridae, Tenebrionidae, Tardigrada, которые участвуют в продукционно-биологических процессах деструкции различных видов растительных остатков в разных типах почв.

Таблица 1. Средняя динамика численности (особь/м²) педобионтов в различных горизонтах почв

Тип почвы	Глубина, (см)	Биомасса, (г/м ²)	Числен. Мезофауны, (экз/м ²)	Числен. сем. Lumbricidae, (экз/м ²)	Кол-во копролитов, (г/м ²)	Кол-во ходов, (1м ²)
Бурая лесная почва (Заповедник Кодры)	Ad (0-10)	19.7	78	67	228-254	778
	A1(10-25)	6.6	52	19		
	A2(25-35)	3.2	8	10		
Серая лесная почва (Заповедник Кодры)	Ad(0-11)	28.6	97	82	286-300	987
	A1(11-28)	7.8	64	26		
	A2(28-38)	4.3	12	10		
Чернозем карбонатный	Ad (0-8)	14.9	175	37	157-166	690
	A1(8-25)	13.0	126	69		
	B(23-30)	3.9	12	19		
Чернозем обыкновенный	Ad (0-10)	20.9	164	73	133-145	586
	A1(10-21)	11.8	72	40		
	A2(21-47)	3.7	22	18		
	B1(47-65)	1.2	3.6	3.9		
Чернозем типичный	Ad (0-22)	19.8	352	224	120-123	430
	A1 (22-45)	11.0	14	6		

Исследуя динамику численности беспозвоночных животных в зависимости от типа почвы, можно отметить, что наибольшее количество беспозвоночных животных наблюдается в черноземах типичных, обыкновенных и карбонатных (табл. 2). В лесных экосистемах численность педобионтов характеризуется высокими показателями (численность, биомасса, количество копролитов и ходов) мезофауны, включая сем. Lumbricidae, в серых лесных (Заповедник Кодры) и бурых лесных почвах (Заповедник Кодры) (табл. 2). Эдафические сапрофаги беспозвоночных животных, включая почвенных олигохет, поглощают частицы почвы вместе с пищей, и выделяют переработанный материал в виде экскрементов (копролитов), активно участвуя в минерализации и гумификации растительных остатков. В организме дождевых червей происходит ускоренное разложение ингибиторных веществ из растительных остатков [7].

Экскременты олигохет и почвенных насекомых являются одним из субстратов целлюлозо-разрушающих микроорганизмов, 12 мг экскрементов обеспечивают активность 7.8 млн деструкторов. Копролиты удерживают больше воды, чем другие компоненты почвы. В суглинистых почвах содержание воды оказалось на 44% больше, чем в других типах почв. У представителей вида *Lumbricus terrestris*, более крупных форм дождевого червя, количество копролитов в почве составляет – 2000–3000 мкм, а у вида *Allobophora rosea* – 1200–1700 мкм.

Количество ходов зависит от экологических показателей, таких как плотность, численность и диаметр дождевых червей. Некоторые виды из рода *Allobophora* и *Lumbricus* – являются довольно крупными червями, до 1 см толщиной, и отличаются расширенным и уплощенным задним концом тела. В тёплый вегетационный период популяция из 25 особей на 1 м² проделывает в почве 800 ходов/м² с диаметром 7–8 мм, что создает благоприятный воздушный и водный режим почвы. Скорость разложения растительных остатков зависит от комплекса факторов, как биотических (педобиота и микробиота (эдафон), так и абиотических (географическая зона, характер рельефа, микроклимат, количество

и продолжительность солнечных дней, максимальные и минимальные температуры, влажность воздуха, запасы почвенной влаги, направление и скорость ветра, физико-химические свойства почв, содержание гумуса, биоразнообразие флористического состава, структура севооборота, частота обработки почвы).

Таблица 2. Средние продукционно-биологические показатели педобионтов сапрофагов в разных типов почв (на 1 га, глубина 0–50 см)

Типы почв в экосистемах	Количественные показатели сапробионтных педобионтов (особей/га)	Вес биомассы подстилки (кг/га)	Период времени разложения биомассы (годы, месяцы)	Содержание гумуса с учётом разложившегося органического вещества (%)
Лесные почвы (Заповедник Кодры)	1.986000	4897	2,8-3,2	3,8
Чернозем карбонатный (степь)	265000	2200	1,3-1,6	4,0
Чернозем поймено-луговой	1.678000	3000	2,2-2,6	4,4
Чернозем обкновённый-поле пшеницы	869000	900–1140	1,0-1,2	2,1

По многолетним наблюдениям, за период 1992–2017 гг., можно отметить, что повышенная активность педобионтов, включая и сем. *Lumbricidae*, в лесных почвах природных экосистем (Заповедник Кодры) способствует процессам полной трансформации органических веществ растительной биомассы в течении 2.8–3.0 лет (табл. 2). Дождевые черви за сутки перерабатывают в среднем 10 мг сухой массы почвы, смешанной с растительными остатками, на 1 г массы тела. Во влажной бурой лесной почве при $t\ 17C^{\circ}$ (в термостате) представители вида *Lumbricus rubellus* потребляли до 200 мг сухой массы в сутки на 1г собственного веса.

В течение вегетационного периода (216 дней), разные эколого-таксономические группы почвенных животных, включая и сем. *Lumbricidae*, за сутки перерабатывают 905.84 г почвы вместе с растительными остатками, общей

биомассы – 217.4 г/м² (площади) почвы для серых и бурых лесных почв, что в пересчёте на всю площадь Заповедника «Кодры» составляет 906 тонн почвы в сутки или 195662 тонн почвы с растительными остатками за год.

Для педобионтов сапрофагов биологическим показателем продуктивности является количество переработанной ими биомассы листового покрова и растительных остатков. Период времени и скорость разложения растительных остатков зависит от характера ландшафта, времени года и от типа почвы [7]. В разных экосистемах (лес, луг, степь, агробиоценоз), проводились исследования по изучению скорости разложения зелёной биомассы растений (зелёных листьев различных видов деревьев). На экспериментальных площадках (S – 1 м²) зелёные листья размещали в почве на глубине до 30 см при отсутствии почвенных беспозвоночных животных. Максимальное число особей почвенных беспозвоночных животных, зафиксированных на экспериментальных площадках с полуразложившимися листьями, наблюдалось на луговых почвах, далее на лесных и степных почвах, и минимальное количество – на пашне, время года влияло незначительно. В зависимости от глубины почвы, начиная с 50 см и до 80 см происходило уменьшение числа педобионтов и одновременно наблюдалось замедление процесса минерализации. Наибольшая численность и видовой состав педобионтов и одновременно максимальная интенсивность процесса разложения зелёной биомассы наблюдались во всех экосистемах (лес, луг, степь, агробиоценоз) на глубине почвы 0–25 см.

Таблица 3. Относительная экстраполяция (%) использования питательных веществ (П), поглощенных с пищей в период роста и развития некоторых видов педобионтов

Виды педобионтов	Доля расхода пищи в течение жизни	Доля пищи, поглощенной педобионтом	Доля пищи, использованной на рост и развитие	Доля пищи, выделенная с экскрементами	Доля пищи, израсходованная на жизненные процессы
Nematoda <i>Rhabbti tisteres</i>	12,0	13,6	8,7	68,7	9,8
Enchytrieidae <i>Fridericia bisetosa</i>	13,3	15,7	11,0	79,0	10,4
Lumbricidae <i>Eisenia foetida</i>	17,4	19,0	12,0	88,0	13,8
Isopoda <i>Trachllines rathrei</i>	12,7	14,0	10,4	80,0	8,7
Diplopoda <i>Blaniulus guattulatus</i>	14,0	15,0	11,2	83,0	12,0
Collembola <i>Isotoma notabilis</i>	12,7	14,0	9,8	75,0	10,6
Oribatida <i>Oppia minus</i>	13,5	17,8	10,3	76,8	11,2
Tardigrada	14,0	15,4	8,8	73,0	9,7

Во время роста и развития педобионтов максимальная доля пищи, выделяемая с экскрементами, составляет – 88,0% у вида *Eisenia foetida* из сем. Lumbricidae, минимальная – 68,7% у вида *Rhabbti tisteres* из сем. Nematoda (табл. 4). Сапрофаги получают органические вещества из отмерших растительных остатков, лиственной подстилки, и органических удобрений. Если экстраполировать энергию (Э), получаемую и расходуемую в течение жизнедеятельности у некоторых видов педобионтов (в %), то у вида *Rhabbti tisteres* из сем. Nematoda расход энергии составляет 10,9%, количество энергии поглощённой с пищей – 12,8%, количество энергии, использованной на построение организма – 7,7%, количество энергии, выделенной с экскрементами – 65%, количество энергии, израсходованной на жизненные процессы – 8,6%.

Таблица 4. **Определение показателей рН копролитов дождевых червей (вид *Allobophora rosea*) и рН почвы**

н/	Тип почвы	рН копролитов	рН почвы
I	Серая лесная	7.3	5.5-6.9
II	Бурая лесная	6.6	5.2-5.7
III	Чернозем	7.9	6.7-7.0

ВЫВОДЫ

Функциональное значение деятельности почвенных беспозвоночных животных заключается в разложении растительных остатков в эдафической среде разных типов почв естественных биомов и агроэкосистем, что поддерживает высокий биоэнергетический потенциал круговорота веществ и энергии в природе и в почвах.

Увеличение биоразнообразия таксономического комплекса экологических трофических групп педобионтов зависит от качества и количества аккумулированных растительных остатков, поступающих в почву, который имеет положительный биоэкологический тренд для блока сапрофагов из зоокомплекса педобионтов в разных типах экосистем.

Тренд качественных и количественных биологических показателей в почвах природных биогеоценозов характеризуются значительным обилием и биоразнообразием почвенных беспозвоночных животных, по сравнению с агроэкосистемами, где динамика численности и разнообразие снижены.

В природных экосистемах при высоком уровне таксономического состава разнообразных трофических групп педобионтов наблюдается максимальная скорость интенсивности разложения растительных остатков и подстилок для разных типов почв, по сравнению с почвами сельскохозяйственного использования.

Ежегодное поступление растительного и листового опада от 3–5 т/г в почву и высокая активность почвенных беспозвоночных животных обеспечивает накопление от 1.0 до 1.5% гумуса.

Почвенная биота участвует в продукционно-биологических процессах, особенно в процессах разложения органического материала растительного и

животного происхождения, обогащая почву макро- и микроэлементами, гумусом, улучшая структуру и повышая плодородие почв.

В период роста и развития почвенные беспозвоночные животные с относительно большими размерами тела используют для построения организма меньше энергии, поступающей с пищей, по сравнению с беспозвоночными педобионтами с относительно небольшими размерами тела, но у организмов с большими размерами тела расходуется больше энергии для поддержания жизненных процессов.

Список литературы

1. Гиляров М.С., Стриганова Б.Р. Количественные методы в почвенной зоологии. М.: Наука, 1987. С. 287.
2. Уланов А. Н. Экологические аспекты восстановления болотных агроэкосистем на отработанных торфяных месторождениях южной тайги Кировской области // Сборник научных трудов. Выпуск 18(66). М., 2018. С. 61–70.
3. Яшин М.А., Авдеева Т.Н., Когут Б.М., Маркина Л.К., Семенов В.М., Тарасов С.И., Фрид А.С. Агрогенная трансформация лабильных гумусовых веществ и структуры дерново-подзолистой супесчаной почвы // Агрохимия. 2015. №9. С. 3–13.
4. Gller P. The distribution of insects, spiders, and mites in the air // USDA. Techn. Bull, 673. 1939. P. 1–150.
5. Nielsen C.O. Oiros, 12, 17-35, 1961.
6. Odum E. Ecology 41, 34–49, 1960.
7. Vition P., Reciclarea deșeurilor organice și biocultivarea biotei edafice., Revista științifică Noosfera. ISSN 1857-3517. 2016. № 16. P. 104–110.
8. Nielsen C. O. Christensen, 1959.

ПОЛИМЕРНЫЕ ГЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ И ПРОДУКТИВНОСТЬЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Т. Н. Данилова

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

E-mail: danilovatn@yandex.ru

В настоящее время, в связи с наблюдаемыми изменениями климата ухудшается водообеспеченность посевов сельскохозяйственных культур, поэтому особое внимание проявляется к влагонабухающим полимерным гидрогелям. Полимерные гели являются перспективным средством управления водообеспеченностью растений в период вегетации. В статье рассматривается последствие двух типов гидрогеля на водообеспечение и продуктивность озимой ржи в звене полевого севооборота.

Ключевые слова: гидрогель, продуктивная влага, водообеспечение, озимая рожь, эвапотранспирация, урожайность.

POLYMER GELS FOR MANAGING WATER AND PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROPS

T. N. Danilova

Agrophysical Research Institute,

E-mail: danilovatn@yandex.ru

Currently, in connection with the observed climate changes, the water supply of agricultural crops is deteriorating, therefore, special attention is paid to moisture-swelling polymer hydrogels. Polymer gels are a promising means of plant water supply management during the growing season. The article examines the aftereffect of two types of hydrogel on water supply and productivity of winter rye in the field crop rotation link. Two types of hydrogels were investigated: a sodium-based hydrogel «Ritin-10» and a potassium-based hydrogel «B-415K» with doses of 100 kg ha⁻¹; 200 kg ha⁻¹ and 300 kg / ha⁻¹. In all phases of development of winter rye, an intensive increase in biomass was observed, especially in variants with a sodium hydrogel. Evaluation of the effectiveness of the influence of the hydrogel on the water supply of winter rye was carried out taking into account evapotranspiration during the critical phases of culture development, i.e. during the period of stalking - heading. In the variants of the experiment with the hydrogel, evapotranspiration was more intense than in the control. Due to the presence of a hydrogel in the soil, rye plants received a sufficient amount of moisture during the ear formation. The yield of winter rye in the variants with the hydrogel turned out to be higher than in the control, i.e., the aftereffect of the hydrogels is observed. This is especially noticeable in variants with a sodium-based hydrogel; there is a dependence on the dose of the hydrogel. The yield increase in the variants with sodium hydrogel was from 7 to 14%. In variants with a potassium-based hydrogel – from 4 to 8%. A sodium-based hydrogel performed better. The studies of the prolonged action of sodium and potassium-based hydrogels showed that the influence of hydrogels in the field crop rotation in the fourth year after application was still continuing, although a significant decrease in crop productivity was observed. The conducted studies of the prolonged action of sodium and potassium-based hydrogels showed that the influence of hydrogels in the field crop rotation in the fourth year after application still continued, although there is a significant decrease in crop productivity.

Keywords: hydrogel, productive moisture, water supply, winter rye, evapotranspiration, yield.

Введение

Среди современных полимерных материалов и полимерных реагентов особое значение имеют водонабухающие полимеры (полимерные гидрогели), огромный практический и научный интерес к которым обусловлен уникальными свойствами материалов на их основе. Полимерные гидрогели – это пространственно-сшитые гидрофильные макромолекулы, способные обратимо поглощать значительное количество воды (до нескольких кг воды на г сухого полимера). При набухании они значительно увеличиваются в объеме, обладают высокой водосорбирующей способностью, при этом стабильны при многократных циклах иссушения и набухания (Казанский и др. 1988). При внесении в почвенный корнеобитаемый слой частицы геля располагаются в межагрегатном пространстве, и при поступлении влаги набухают, обеспечивая увеличение влажности по сравнению с необработанной гидрогелем почвой. Вода остается доступной для растений, так как при набухании не происходит прочного связывания воды с молекулой полимера. При высыхании абсорбент принимает первоначальную кристаллическую форму и готов к новому циклу набухания при последующем увлажнении. Такая цикличность поглощения и отдачи влаги на протяжении нескольких лет присуща гидрогелям полиакриламидного типа, поэтому их применение наиболее целесообразно в практике земледелия и растениеводства (Катичева, Агафонов, 1990). Внесение гидрогеля способствует созданию дополнительного запаса влаги в корнеобитаемой зоне на разных стадиях выращивания сельскохозяйственных культур. Дополнительный запас влаги может составлять от 10 до 30 мм, таким образом, происходит пролонгирование влажности почвы на весь вегетационный период. Расчетный прирост влажности почв при добавках полимера (при набухании 300 мл на 1 г.) составляет 3 мм. влаги, т. е. 30 т. влаги на гектар при дозе внесения полимера порядка 100 кг га^{-1} . Эффективность полимера, как влагоабсорбента обеспечивается уже при дозах 0,0002 %.

В работах российских и зарубежных исследователей (Годунова и др., 2014; Choudhary, 1995; Gilbert et al., 2014; Puoci et al., 2008) показано, что внесение

гидрогеля в дозах от 0,05 до 1% повышало влагоемкость песчаных почв, увеличивая запас доступной для растений влаги. При этом улучшается водный режим почвы вследствие снижения потерь влаги на непроизводительное испарение; снижается количество необходимых для вегетации растений поливов; улучшается питательный режим и условия роста растений; в критические моменты роста растений наличие гидрогеля в корнеобитаемой зоне смягчает влияние засушливых периодов. Влагоемкость почвы зависит от ее структуры, типа гидрогеля и размера частиц (порошок или гранулы), pH почвенного раствора. Водопотребление сельскохозяйственных культур определяется продолжительностью фаз развития растений, условиями внешней среды (световой, температурный, водный, питательный, воздушный режимы), биологическими особенностями вида и сорта культуры (Вавилов, 1986).

Потребность растений в воде в разные фазы их развития различна. Например, наибольшее водопотребление у злаков приходится на фазы кущения и колошения. В исследованиях (Годунова, 2014) влияния гидрогелей на водопотребление зерновых культур в засушливых и полузасушливых регионах установлено, что урожайность культур значительно повышаются с увеличением концентрации гидрогеля. При этом отмечается хороший прирост биомассы растений, лучше развивается корневая система растений, повышается качество зерна.

Результаты и обсуждение

Изучение влияния гидрогеля на водообеспечение и продуктивность сельскохозяйственных культур проведено в полевом севообороте с гидрогелем, внесенным с дозами из расчета 100 кг/га; 200 кг/га и 300кг /га. Исследовали два типа гидрогелей: гидрогель на натриевой основе «Ритин-10» и гидрогель на калиевой основе «В-415К». В данной статье приведены результаты исследования последствий (4-й год после внесения) гидрогелей на водообеспечение и продуктивность озимой ржи. На рис. 1 (а, б) представлены относительные показатели эффективности применения гидрогеля под озимую рожь (вариант с гидрогелем на натриевой и калиевой основах и дозой внесения 200 кг га⁻¹).

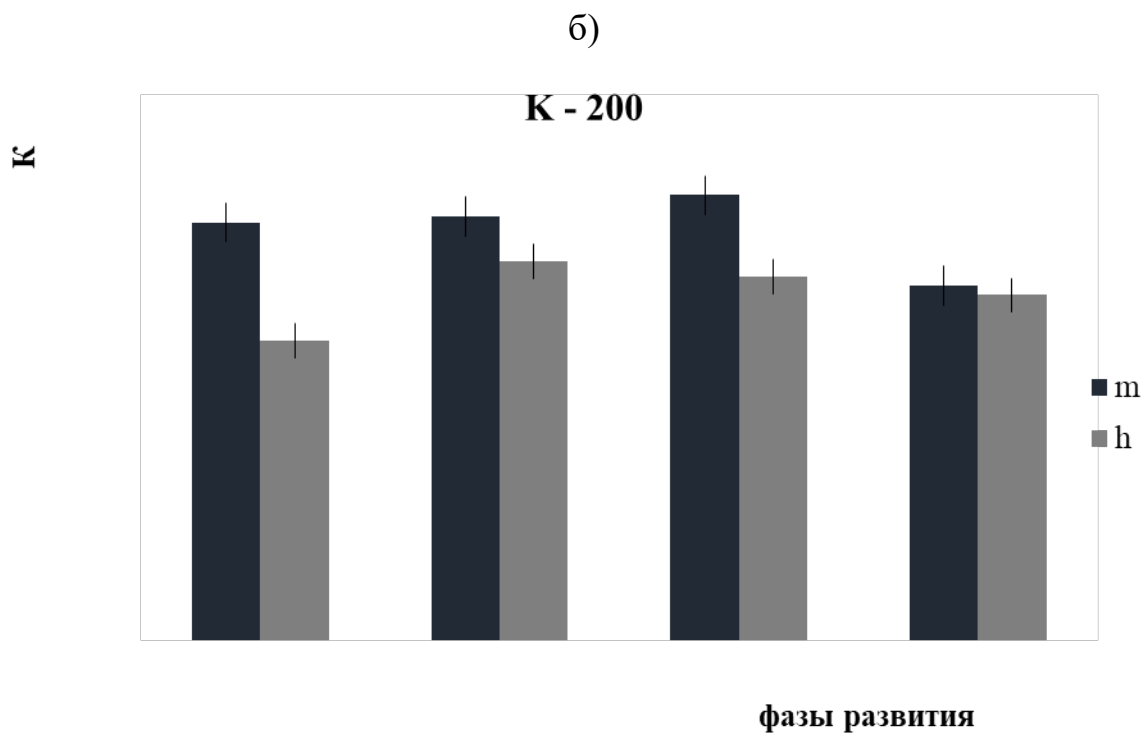
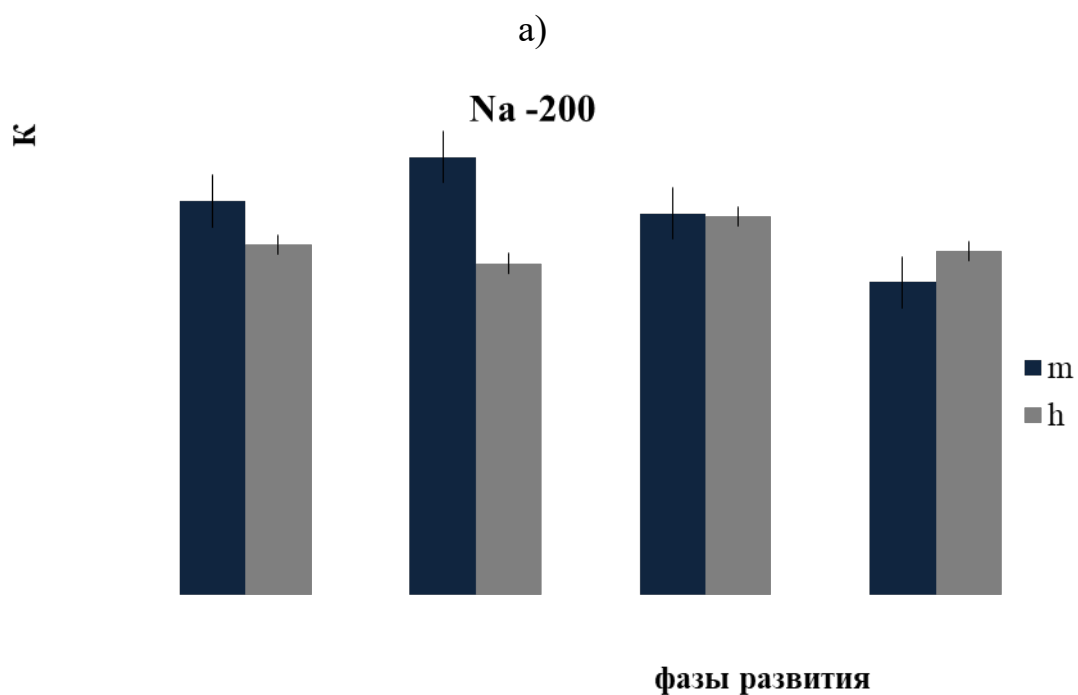


Рис. 1. Относительные показатели эффективности применения гидрогеля. Приведены средние (M) и стандартные отклонения ($\pm SD$)

Обозначения: фазы развития: 1 – стебление; 2 – колошение; 3 – цветение; 4 – восковая спелость.

Относительные показатели: $K_h = h_{\Gamma}/h_K$; $K_m = m_{\Gamma}/m_K$, здесь h – высота растений; m – биомасса растений (фитомасса), индексы Γ и K – опыт и контроль соответственно.

Гистограммы (рис. 1 а, б) показывают, что во все фазы развития озимой ржи наблюдался интенсивный прирост биомассы, особенно в вариантах с гидрогелем на натриевой основе. При дозах внесения 200 кг га^{-1} наблюдается хороший прирост биомассы в следующие фазы развития: стебление, колошение и цветение (рис. 1 а, б). Оценка эффективности влияния гидрогеля на водообеспечение озимой ржи проводилась с учетом эвапотранспирации в критические фазы развития культуры, т. е. в период стебление – колошение. Методика расчета эвапотранспирации (методика FAO представлена в работе Данилова, 2016). На рис. 2 представлена потенциальная эвапотранспирация озимой ржи в период вегетации.

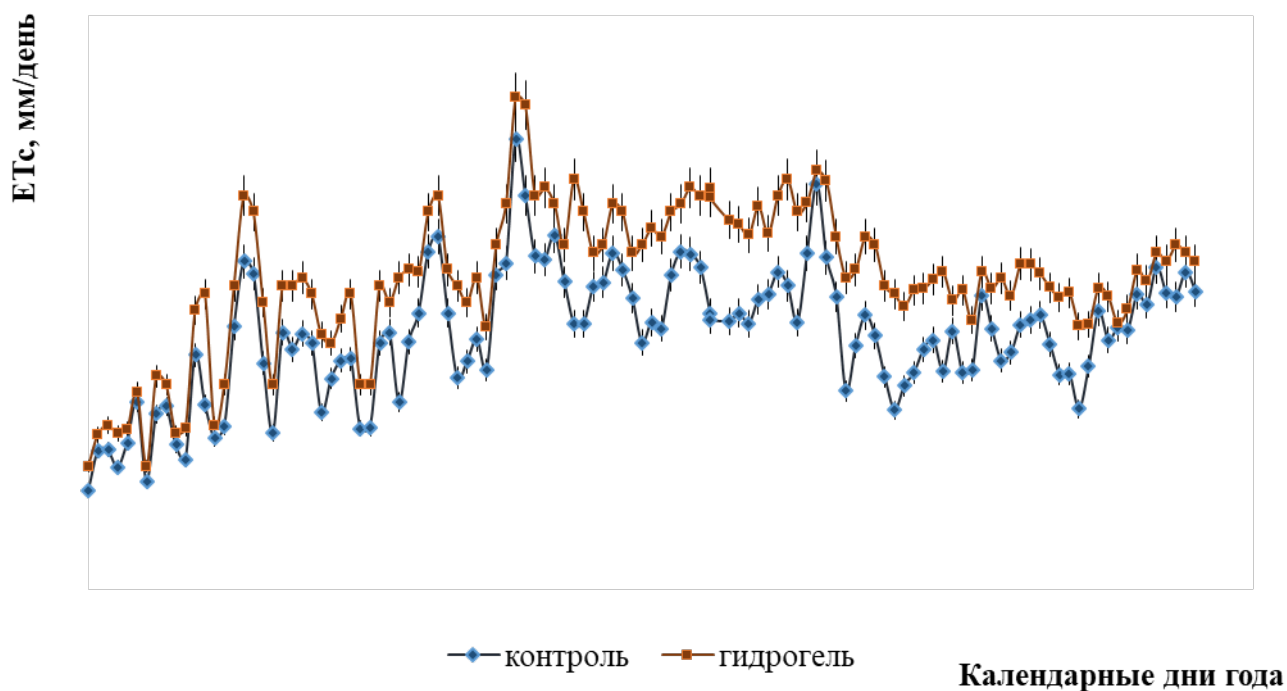


Рис. 2. Потенциальная эвапотраспирация озимой ржи в вегетационный период.

В период стебление – колошение (рис. 2) эвапотранспирация в вариантах опыта с гидрогелем происходила интенсивнее, чем на контроле. Благодаря наличию гидрогеля в почве растения ржи получали достаточное количество влаги в период формирования колоса. Это отразилось на урожайности.

Результаты статистического анализа эвапотранспирации озимой ржи в период вегетации показали достоверные различия между эвапотранспирацией на

контроле и в варианте с гидрогелем, внесенным в почву ($p < 0,001$). В таблице представлена урожайность озимой ржи по вариантам опыта.

Анализируя данные таблицы, можно сказать, что урожайность озимой ржи в вариантах с гидрогелем больше, чем на контроле, т. е. наблюдается последствие гидрогелей. Особенно это заметно на вариантах с гидрогелем на натриевой основе, прослеживается зависимость от дозы гидрогеля.

Таблица. Урожайность озимой ржи (ц га⁻¹)

Варианты	Урожайность, ц га ⁻¹				Прибавка к контролю	
	I	II	III	среднее	ц га ⁻¹	%
Контроль	36,35	32,64	35,73	34,9	–	100,0
Г _{Na} -100	36,64	38,13	37,35	37,37	2,47	107,07
Г _K -100	34,76	34,8	33,41	34,32	–0,58	98,34
Г _{Na} -200	38,98	39,34	37,62	38,64	3,74	110,71
Г _K -200	37,28	36,46	35,5	36,41	1,51	104,32
Г _{Na} -300	41,48	39,74	38,53	39,92	5,02	114,38
Г _K -300	37,15	37,3	39,12	37,85	2,95	108,45
НСР ₀₅	2,11					

Прибавка урожай была получена в вариантах: ГГ_{Na-100}; ГГ_{Na-200}; ГГ_{Na-300} (гидрогель на натриевой основе «Ритин-10» с дозами внесения 100 кг га⁻¹; 200 кг га⁻¹ и 300 кг га⁻¹). Прибавка составила от 7 до 14%. У гидрогеля на калиевой основе ГГ_{K-200} ГГ_{K-300} (гидрогель на калиевой основе «В-415 К» с дозой внесения 200 кг га⁻¹ и 300 кг га⁻¹) прибавка урожая составила от 4 до 8%.

Проведенные исследования пролонгированного действия гидрогелей на натриевой и калиевой основах показали, что влияние гидрогелей в полевом севообороте на четвертый год после внесения еще продолжалось, хотя наблюдается значительное снижение продуктивности культуры.

Вывод

Таким образом, используя, современные методы управления водообеспеченностью посевов и передовые технологии для повышения водоудерживающей способности почв, можно значительно увеличить урожайность и продуктивность сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Годунова Е.И., Гундырин В.Н., Шкабарда С.Н. Перспективы использования гидрогеля в земледелии Центрального Предкавказья // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 1. С. 24–27.
2. Данилова Т.Н. Регулирование водного режима дерново-подзолистых почв и влагообеспеченности растений при помощи водопоглощающих полимеров // Агрофизика. № 1. 2016. С. 8–16.
3. Казанский К.С., Агафонов О.А., Усков И.Б., Романов И.А. Сильнонабухающие полимерные гидрогели – новые влагоудерживающие почвенные добавки // Вестник сельскохозяйственной науки. № 4. 1988. С. 125–132.
4. Катичева И.А., Агафонов О.А. Сильнонабухающие полимерные гидрогели для растениеводства // Вестник с.-х. науки. 1990. № 12. С. 16–166.
5. Растениеводство под ред. Вавилова Н.И. М.: Агропромиздат, 1986. 512 с.
6. Choudhary M.I., Shalaby A.A. Al-Omran A.M. Water holding capacity and evaporation of calcareous soils as affected by four synthetic polymers // Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis. Volume 26. 1995. Issue 13–14. Pages 2205–2215.
7. Gilbert C., Peter S., Wilson Ng., Edward M., Francis M., Sylvester K., Erick B. Effects of Hydrogels on Soil Moisture and Growth of *Cajanus cajan* in Semi Arid Zone of Kongelai, West Pokot County. Open Journal of Forestry 2014. Vol. 4, No.1, 34–37.
8. Puoci F., Iemma F., Spizzirri U.G., Cirillo G., Curcio M. Polymer in agriculture: A review. American Journal of Agricultural and Biological Science, 2008, 3: 299–314 (DOI: 10.3844/ajabssp.2008.299.314).

ОБ ОЦЕНКЕ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ПОЧВЕ В УСЛОВИЯХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ОПТИЧЕСКИМ ДАННЫМ SENTINEL 2

Н. В. Родионова¹, С. Я. Кудряшова², А. С. Чумбаев²

¹*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Фрязино;*

²*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск*

В работе получена оценка содержания гумуса на пяти тестовых участках с черноземами и серыми лесными почвами в Новосибирской области в апреле 2019 и 2020 годов на базе использования регрессионной модели, в которую входят коэффициенты отражения от поверхности на длине волны спектрального канала В6 спутника Sentinel 2 (S2).

ABOUT SATELLITE ASSESSMENT OF HUMUS CONTENT BASED ON SENTINEL 2 DATA IN CONDITIONS OF NOVOSIBIRSK REGION

N. V. Rodionova¹, S. Ya. Kudryashova², A. S. Chumbaev²

¹*Institute of Radioengineering and Electronics, RAS,
Fryazino, Moscow Region, Russia;*

²*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian branch of RAS, Novosibirsk*

Pokrovsky in 1927 for the first time proposed an exponent equation that determines the relationship between the humus content and the values of the reflection coefficient (RC) (in Orlov et al., 2001).

Our work uses Sentinel 2 (S2) multispectral data to monitor the value of H content in the upper 0-10 cm soil layer of six test sites in the Novosibirsk region in April 2019 and 2020. Three test sites have black soils (unwashed, weakly washed, virgin soil), and the other three have gray forest soils (unwashed, weakly washed, forest). For remote determination of H content based on multispectral S2 data we use regression model (Karavanjva, Orlov, 1996) and S2 spectral band B6 (740 nm). The model are applicable to bare soil and require a number of conditions to be met. Namely, 1) zero cloud cover, 2) NDVI < 0.35, 3) the difference between B3 and B2 bands and between B4 and B3 bands must be greater than 0, 4) the value of $NBR = (B11 - B12) / (B11 + B12)$ must be $NBR \leq 0.05$. We used S2 L2A optical data for 23.4.2019 and 22.4.2020. The conditions for applying regression equations are met for five test sites (except for the forest).

The coefficient values in exponent equation (Karavanova, Orlov, 1996) were adjusted for the conditions of the test sites. The calculated values of the humus content showed a decrease of 2.4% in the unwashed chernozems per year. For all other test sites, the change over the year was from 0.3 to 0.9%.

В данной работе рассматривается возможность использования оптических данных спутника Sentinel 2 за 2019-2020 годы для оценки содержания гумуса (H) на примере черноземов и серых лесных почв Новосибирской области. Особое внимание уделено подбору спутниковых изображений, поскольку для подобной

оценки есть определенные требования для почвы, а именно, почва должна быть сухая и без растительности (обнаженная).

Исходные данные

В данной работе для определения содержания гумуса в верхнем слое почвы используются мультиспектральные данные спутников Sentinel 2 с высоким временным, пространственным и спектральным разрешением. Спутник ESA Sentinel 2A был запущен в июне 2015 года, второй Sentinel 2B в марте 2017 года. Периодичность мультиспектральной съемки каждым спутником составляет 10 дней, а при работе двух аппаратов – 5 дней. В мультиспектральной камере 13 каналов с разным пространственным разрешением от 10 до 60 метров. Обработка изображений осуществлялась программой SNAP. Использовались данные съемочной системы Sentinel 2 с уровнем обработки L2A в виде альbedo на нижней границе атмосферы (с атмосферной коррекцией).

Для примера применения спутниковой информации используются почвы шести тестовых участков, расположенных в Новосибирской области. В табл. 1 дано описание этих площадок с гранулометрическим составом почвы и содержанием гумуса на глубине 0–10 см (лабораторные данные 2019 года).

Таблица 1. Гранулометрический состав почвы и содержание гумуса на глубине 0–10 см для шести тестовых площадок Новосибирской области

Площадка	Координаты с.ш., в.д.	Гранулометрический состав почвы и содержание гумуса (%)			
		глина	песок	ил	гумус
1. Чернозем выщелоченный, несмытая пашня	55°02'12.3'', 83°51'47.8''	25.6	53.7	20.7	9.9
2. Чернозем выщелоченный слабосмытая пашня	55°01'42.8'', 83°50'41.8''	19.8	56.8	23.4	8.3
3. Чернозем выщелоченный, слабосмытая целина	55°01'55.4'', 83°51'29.6''	22.1	51.8	26.1	8.6
4. Серая лесная почва, несмытая пашня	55°00'42.0'', 83°53'01.1''	22.9	54.8	22.3	6.0
5. Серая лесная почва, слабосмытая пашня	55°00'40.5'', 83°52'54.1''	24.4	55.1	20.5	5.2
6. Серая лесная почва, лес	55°00'37.8'', 83°52'31.8''	25.0	54.2	20.8	6.6

Выбор исходных изображений

Для спутниковой оценки содержания органического вещества в почве накладываются ограничения на выбор мультиспектральных изображений, связанные с выделением на изображениях сухих почв без растительности (обнаженных почв). В работе (Dematte et al., 2018) приведены такие условия, которые для каналов Sentinel 2 представлены следующим образом (Castaldi et al., 2019): 1) нулевая облачность в районе исследования, 2) значение вегетационного индекса $NDVI = (B8-B4)/(B8+B4) < 0,35$ для исключения зеленой растительности, 3) разность коэффициентов отражения (КО) между каналами B3 и B2 и каналами B4 и B3 должна быть больше 0 (использование данных фильтров улучшает выделение почвы (Dematte et al., 2018)), 4) значение $NBR = (B11-B12)/(B11+B12)$ должно быть $NBR \leq 0,05$, что позволяет выделить на изображении пиксели с сухой обнаженной почвой. Вода усиливает поглощение света, и КО резко снижается. Спектральные каналы B11 и B12 сильно коррелируют с влажностью почвы (Musick, Pelletier, 1988), и их разность позволяет различать спектры сухой, влажной почвы, а также спектры, связанные с растительностью. Выбор порога для NBR сильно влияет на количество пикселей на изображении, удовлетворяющих условиям сухой почвы. Увеличение порога NBR до 0,15 приводит к уменьшению числа 'нужных' пикселей в два раза (Castaldi et al., 2019), т. е. увеличение NBR приводит к ухудшению точности моделей для определения параметров почвы по спутниковым данным.

В результате для исследуемой территории были выбраны оптические снимки S2 L2A за 23.4.2019 и 22.4.2020, для которых выполнено условие отсутствия облачности, NDVI меняется от 0.17 до 0.24, разность КО между каналами B3 и B2 и каналами B4 и B3 больше 0, значения NBR несколько превышают порог 0,05, а именно, NBR меняется от 0,1 до 0,158. Приведенные значения выполняются для всех площадок, кроме площадки № 6 (лес), для которой значение $NDVI > 0,5$ и $NBR > 0,17$.

Оценка содержания гумуса в почве по данным Sentinel 2

Для создания регрессионной модели связи КО с Н необходимы как спутниковые, так и наземные данные, причем количество точек для наземных измерений должно быть не меньше 20 для определения корреляции. Кроме того, исследуемые тестовые участки должны иметь близкий гранулометрический состав. Дело в том, что чем более мелкие частицы почвы, тем больше КО от этих почв. То есть модели для определения Н являются локальными, и использование имеющихся в литературе моделей требует корректировки для исследуемой территории.

Для качественной оценки изменений содержания гумуса в почвах исследуемых тестовых участков приведем графики зависимости КО для длин волн каналов S2 B2-B6, B8, B11, B12 для 23.4.2019 и 22.4.2020 (рис. 1), и определим изменения за год. Разность значений КО положительна для площадки № 1 (чернозем, несмытая пашня) для всех каналов, кроме B12. Это свидетельствует, что значения КО для площадки № 1 увеличились в 2020 году в сравнении с 2019 годом, т. е. содержание Н уменьшилось. Для чернозема смытого (площадка № 2) есть как увеличение разности для трех каналов, так и уменьшение разности для четырех каналов. То есть нельзя отметить какого-то изменения содержания Н за год. Для площадки № 3 (целина) разность КО для шести каналов отрицательна, и для двух положительна. То есть можно сделать вывод об уменьшении для большинства каналов значений КО за год, и сл., увеличение значения Н. Для серых лесных почв несмытых (площадка № 4) отмечаем отрицательную разность для шести каналов из восьми, т. е. уменьшение КО за год, соответственно, увеличение за год Н. Для слабосмытых серых почв (площадка № 5) отмечаем увеличение разности КО, соответственно, уменьшение содержания Н.

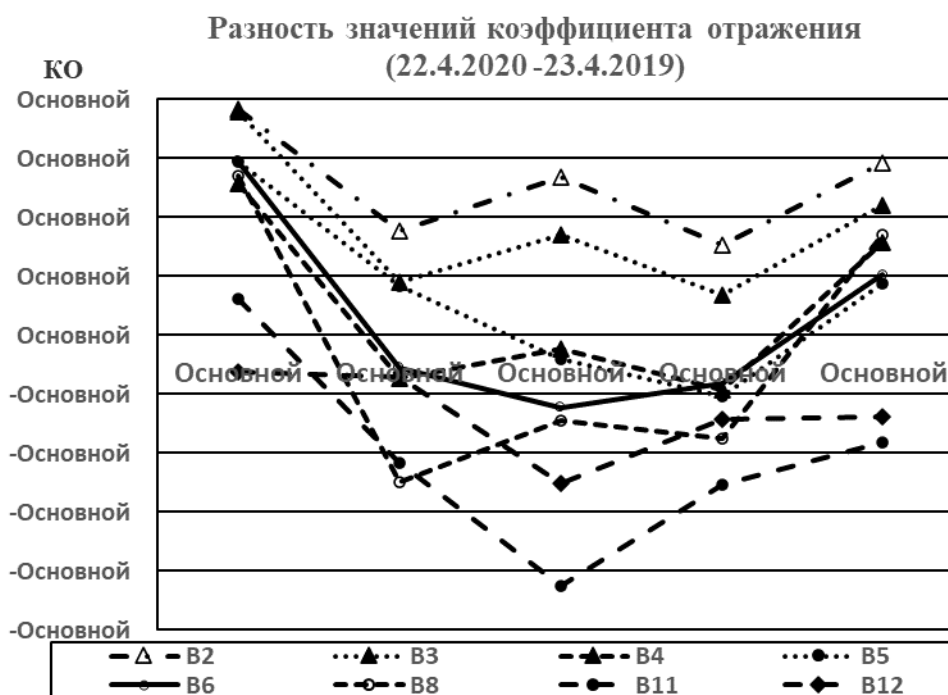


Рис. 1. Разность значений коэффициента отражения от почв пяти тестовых площадок для дат 22.4.2020 и 23.4.2019

Для количественной оценки N необходима локальная модель для тестируемой территории, либо использование существующих моделей с корректировкой для локальной территории со своим гранулометрическим составом почвы.

Покровским в 1927 году впервые было предложено уравнение экспоненты, определяющее связь содержания гумуса и значений КО (по Орлов и др., 2001):

$$\rho_{750} = \rho_{750,h} + A e^{-kN}$$

где ρ_{750} – КО на длине волны 750 нм; $\rho_{750,h}$ – КО многогумусной почвы; $\rho_{750,0} = (\rho_{750,h} + A)$ – КО безгумусной почвы; N – содержание гумуса, k – коэффициент, определяющий крутизну экспоненциального графика.

При использовании экспоненциальной зависимости КО от содержания гумуса в сухой почве без растительности следует учитывать три момента: 1) при небольшом содержании гумуса (до 3%) его определение наиболее точное, но разброс значений КО, соответствующих данному содержанию гумуса, велик, 2) при значениях содержания гумуса 6–7% и более определение содержания гумуса по КО неточное, влияние оказывают при одинаковом содержании гумуса влажность почвы, условия обработки (Караванова, 2003), 3) решающим

фактором является выбор дат спутниковой съемки, позволяющих выявить пиксели с сухой почвой без растительности.

В настоящей работе выяснить корреляционную связь КО с содержанием гумуса на пяти тестовых участках Новосибирской области не представляется возможным из-за недостаточного числа наземных точек измерений. Судя по имеющимся наземным измерениям содержания гумуса в почвах тестовых участков (табл. 1), предполагаем, что кривые зависимости КО от Н (гумус) представлены выполаживающимися участками, где точность определения содержания Н от КО невелика.

В данной работе для определения содержания Н по спутниковым данным используется экспоненциальная модель с параметрами для черноземов и серых лесных почв, представленная в (Караванова, Орлов, 1996).

Отметим, что для соответствия этой модели надо взять данные оптики для длины волны 750 нм. Для Sentinel 2 – это канал В6 с длиной волны 740 нм, шириной полосы 15 нм и пространственным разрешением 20 м. Значения КО в канале В6 для пяти тестовых площадок в Новосибирской области для двух дат 23.4.2019 и 22.4.2020, а также полученные значения процентного содержания гумуса по уравнению экспоненты с параметрами разных почв без корректировки на местные условия приведены в табл. 2 (значения ρ_{750} , А, k, взяты в (Караванова, Орлов, 1996)).

Таблица 2. Содержание гумуса для пяти тестовых участков в Новосибирской области по данным Sentinel 2 для 23.4.2019 и 22.4.2020

№ площадки	КО 23.4.2019	КО 22.3.2020	Н(%) чернозем 1 ($\rho_{750}=8.5$, A=19.1, k=0.149) 2019 :: 2020	Н(%) чернозем 2 ($\rho_{750}=8.0$, A=29.1, k=0.17) 2019 :: 2020	Н(%) чернозем 3 ($\rho_{750}=8.0$, A=31.0, k=0.48) 2019 :: 2020	Н(%) серые лесные ($\rho_{750}=8.5$, A=40.5, k=0.155) 2019 :: 2020
1	0,1639	0,1934	5,93 :: 3,8	7,32 :: 5,54	2,72 :: 2,1	
2	0,2041	0,1986	3,16 :: 3,49	5,01 :: 5,28	1,91 :: 2,0	
3	0,1912	0,179	3,94 :: 4,76	5,66 :: 6,34	2,14 :: 2,38	
4	0,1602	0,1521				10,86 :: 11,6
5	0,1644	0,1747				10,51 :: 9,73

Для использования параметров уравнения экспоненты по (Караванова, Орлов, 1996) в локальных условиях исследуемых тестовых участков необходима корректировка этих параметров. Одним из возможных вариантов для оценки содержания гумуса в почвах тестовых участков является использование для черноземов следующих параметров: $\rho_{750,h} = 8,0$, $A = 29,1$ и $k = 0,1256$. Для серых лесных почв $\rho_{750,h} = 8,5$, $A = 40,5$ и $k = 0,28$. В табл. 3 приведены вычисленные значения содержания гумуса H для пяти тестовых площадок при данных коэффициентах уравнения экспоненты.

Таблица 3. Параметры уравнения экспоненты и определенные по уравнению содержание гумуса в почве тестовых площадок Новосибирской области

Почвы	Значения коэффициентов уравнения экспоненты			№ площадки	H, % 2019	H, % 2020
	$\rho_{750,h}$	A	k			
Серые лесные	8,5	40,5	0,28	4	6,0	6,4
				5	5,8	5,4
Черноземы: выщелоченные, обыкновенные, типичные, лугово-черноземные почвы	8,0	29,1	0,126	1	9,9	7,5
				2	6,8	7,1
				3	7,7	8,6

Сравнение полученных значений гумуса H (табл. 3) со значениями, полученными в лабораторных условиях (табл. 1), свидетельствует как о близости, так и отличии до 1,5%, которые вызваны как выбором спутниковых изображений, удовлетворяющих определенным условиям, так и подбором значений коэффициентов уравнения экспоненты при отсутствии необходимого количества наземных данных. И тем не менее некоторые выводы о количественном содержании гумуса в почве сделать можно, прежде всего, что касается сравнения 2019 года с 2020 годом. А именно, для площадки № 1 (чернозем выщелоченный, несмытая пашня) за год отмечено уменьшение содержания гумуса на 2,4%. Для остальных площадок изменения за год незначительные от 0,3 до 0,9%.

Список литературы

1. Караванова Е.И., Орлов Д.С. Оценка содержания гумуса в почвах по их спектральной отражательной способности // *Агрохимия*. 1996. № 1. С. 3–9.
2. Караванова Е.И. Оптические свойства почв и их природа. М.: Изд-во МГУ, 2003. 151 с.
3. Орлов Д.С., Суханова Н.И., Розанова М.С. Спектральная отражательная способность почв и их компонентов. М.: МГУ, 2001. 175 с.
4. F. Castaldi, S. Chabrillat, A. Don, B. van Wesemael. Soil Organic Carbon Mapping Using LUCAS Topsoil Database and Sentinel-2 Data: An Approach to Reduce Soil Moisture and Crop Residue Effects. *Remote Sensing*, 11, 2121 (2019), p. 1–15; doi: <http://doi.org/10.3390/rs11182121>.
5. J.A.M. Demattê, C.T. Fongaro, R. Rizzo, J.L. Safanelli. Geospatial Soil Sensing System (GEOS3): A powerful data mining procedure to retrieve soil spectral reflectance from satellite images. *Remote Sensing of Environment*, 212 (2018), p. 161–175.
6. H.B. Musick, R.E. Pelletier. Response to soil moisture of spectral indexes derived from bidirectional reflectance in thematic mapper wavebands. *Remote Sens. Environ.*, 25 (1988), p. 167–184.

SEMIQUANTITATIVE ANALYSIS OF SOIL-BORNE PLANT PATHOGENS FROM *FUSARIUM* GENUS IN SOME TOMATO VARIETIES

A. D. Deaghileva, V. A. Mitin, C. B. Grajdieru, L. G. Tumanova
*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of Republic of Moldova
(IGPPP), Chişinău, E-mail: show2003@yandex.ru*

In our previous studies, the spectrum of different soil-borne pathogens in the experimental fields of IGPPP, including various *Fusarium* species, was identified using molecular techniques. Some of these species were identified in tomatoes – *F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides*. Earlier, we showed the dynamics of the development of fusariosis infection in different organs of some local tomato varieties, depending on the phase of vegetation. The aim of this study was to compare some tomato varieties that differ in susceptibility to infection using the nested-PCR technique by quantifying *Fusarium spp.*

Introduction

Among the wide spectrum of soil-borne pathogens, fungi of the genus *Fusarium* are one of the most destructive, diminishing tomato production. These cosmopolitan filamentous fungi initially penetrate roots asymptotically, subsequently colonize vascular tissue and induce massive wilting, root rot, and tissue necrosis (Srinivas et al, 2019). In addition to blockage of the conducting tissues, *Fusarium spp.* generally produce secondary metabolites - mycotoxins, which have toxic, mutagenic and carcinogenic effects on humans and animals when the harvested product is processed into food (Escriva et al., 2015). The successful production of tomatoes largely depends on the diseases management – timely and exact pathogens identification at the pre-symptomatic stages of infection, consequently, the correct application of preventive measures. Authentication of disease-resistant varieties is also of great importance.

In our previous studies, the spectrum of different soil-borne pathogens in the experimental fields of IGPPP, including various *Fusarium* species, was identified using molecular techniques (Mitin et al., 2017, Mitina et al., 2018). The same species were identified in tomatoes – *F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides* (Deaghileva et. al, 2017). Earlier, we showed the dynamics of the development of fusariosis infection in different organs of some local tomato varieties, depending on the phase of vegetation (Deaghileva et Al., 2018, Grajdieru et al., 2019).

The aim of this study was to quantify *Fusarium spp.* in some tomato varieties that differ in susceptibility to fusariosis infection using *nested-PCR* assay.

Materials and methods

Vegetal material and DNA extraction. In the study plants of three tomato varieties – ‘Cerasus’, ‘Exclusiv’ and ‘Elvira’ were used (year 2019, selection of IGFPP). Throughout the vegetative season, mixed leaf samples were collected from 10–12 plants of each variety with an interval of about 10 days. Sampling was carried out only from the marked plants. The leaves were thoroughly washed and grinded. DNA was extracted from 1g of plant material according to the combination of several protocols from ISO 21570(2005) (<https://www.iso.org>) and used at once for *nested-PCR* analysis. **Amplification.** Primers for identification of *Fusarium spp.* were described in previous work (Deaghileva et al., 2017). The PCR was performed in a 25 µl mix containing 66 mM Tris-HCl (pH 8.4), 16 mM (NH₄)₂SO₄, 2,5 mM MgCl₂, 0,1% Tween 20,7% glycerol, 100 µg/ml⁻¹ BSA, 0,2 mM of each dNTPs, 1,2 U Taq DNA polymerase (Thermo Fisher Scientific), 5 pM of each primer and 50 ng of DNA.

The first round of the *nested-PCR* included 1 cycle at 95°C for 3 min, followed by 30 cycles: 95°C – 1 min, 60°C – 1 min, 72°C – 1 min. The second round conditions for *nested-PCR* were 95°C – 1 min, 60°C – 1 min, 72°C – 1 min (30 cycles).

The products of amplification were separated in 1,5% agarose gel at the 6 V/cm in a TBE migration buffer (pH 8.0) with ethidium bromide, viewed in the UV (302 nm) and photographed.

Results and discussions

Fusariosis infection of tomato plants was monitored throughout the vegetative season (year2019) using *nested-PCR* technique. Primers used in this study are complementary to the regions of the *TEF1* gene sequence, which are common for all species of *Fusarium* (Deaghileva et al., 2017). The results of a molecular analysis of the development of fusariosis infection in the tested varieties are presented in Table 1.

Table 1. Identified cases of *Fusarium spp.* in tomato varieties

Tomato varieties	Sampling date						
	23.05.19	10.06.19	24.06.19	05.07.19	15.07.19	25.07.19	05.08.19
Cerasus	+	+	+	+	-	-	-
Exclusiv	-	+	-	+	+	-	-
Elvira	-	+	-	+	+	-	-

"+" – positive for *Fusarium spp.*, "-" – negative for *Fusarium spp.*

At first, greenhouse seedlings were studied (samples dated 23.05.19) just before planting in the field. At this time point fusariosis infection was detected only in 'Cerasus' variety. During the adaptation period of the young plants in the field (samples dated 10.06.19) infection was revealed in all varieties. Two weeks later no positive signals in the 'Exclusiv' and 'Elvira' varieties were observed (samples dated 24.06.19). *Fusarium spp.* was detected in all samples dated 05.07.19. Further, the infection subsided until complete elimination.

Samples dated 05.07.19 (table, marked in gray) were selected for quantification of *Fusarium spp.* Equalized amount of DNA is required for the execution of the semiquantitative analysis. The quantity of total DNA in samples was evaluated visually by electrophoresis. Then, seven sequential five-fold dilutions of each DNA sample were performed and used in *nested-PCR*. The results of molecular analysis of *Fusarium spp.* content in three local tomato varieties are shown on Fig. 1.

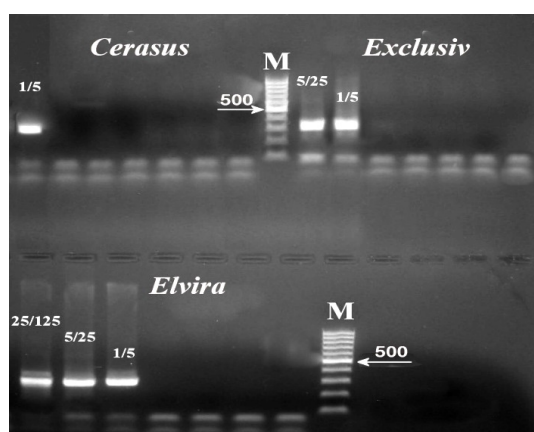


Figure 1. Electrophoregram of *nested-PCR* products amplified by primers to *Fusarium spp.* on the DNA isolated from three tomato varieties – 'Cerasus', 'Exclusiv' and 'Elvira'. M – 100 bp DNA Ladder, (Thermo Fisher Scientific).

1/5 – the sample contains from 1 to 5 pathogen molecules; 5/25 – the sample contains from 5 to 25 pathogen molecules; 25/125 - from 25 to 125.

In the presence of *Fusarium spp.* DNA a 300 bp fragment was synthesized in the second round of *nested-PCR*. The absence of a positive signal in the sample means that

there is no pathogen DNA in dilution. Given that the dilution index was five, the number of pathogen molecules contained in the initial sample was calculated. Based on the results of the molecular analysis, the comparative content of *Fusarium* DNA was distributed in the studied varieties as follows: in variety 'Cerasus' it is 25 times lower than in 'Elvira' and 5 times compared to 'Exclusiv'. Therefore, 'Cerasus' variety showed the lowest susceptibility to the pathogen of genus *Fusarium*, and 'Elvira' - the highest.

Conclusions

Fusarium spp. were detected in all studied tomato varieties ('Cerasus', 'Exclusiv' and 'Elvira') only in the middle of the vegetative season. Semiquantitative analysis by the *nested-PCR* technique showed the highest degree of infection for 'Elvira' variety with *Fusarium spp.*, but for 'Cerasus' - the lowest, the average value was calculated for 'Exclusiv' variety. Therefore, 'Cerasus' variety showed the lowest susceptibility to fusariosis infection.

References

1. Deaghileva A., Mitin V., Grajdieru C., Tumanova L. Molecular identification of *Fusarium* species in tomato. In: Proceedings of the International Conference devoted to the 85th anniversary of the Agrophysical Research Institute «Agrophysical trends: from actual challenges in arable farming and crop growing towards advanced technologies». Saint-Petersburg. 2017. P. 451-154.
2. Deaghileva A., Mitin V., Grajdieru C., Tumanova L. Monitoring of *Alternaria spp.* and *Fusarium spp.* mixed infections in symptomless tomato plants, using molecular methods of plant pathogen identification. In: Materials of the International scientific-practical Conference "The innovative aspect in improving agricultural". Paşcani. 2018. P. 578-582.
3. Escrivá L., Font G., Manyes L. In vivo toxicity studies of fusarium mycotoxins in the last decade: A review. Food Chem. Toxicol. **2015**. Vol. 78. P. 185–206.
4. Grăjdieru C., Deaghileva A., Mitin V., Tumanova L. Molecular analysis of some toxigenic fungi in moldavian tomato varieties. In: Proceedings of the 2nd International Conference «Agrophysical trends: from actual challenges in arable farming and crop growing towards advanced technologies» devoted to Academician Eugene Ermakov. Saint-Petersburg. 2019. P.302-307.
5. Mitin V., Tumanova L., Pasha L. Extraction of DNA for PCR analysis of phytopathogens from the soil. In: Proceedings of the International Conference devoted to the 85th anniversary of the Agrophysical Research Institute «Agrophysical trends: from actual challenges in arable farming and crop growing towards advanced technologies». Saint-Petersburg. 2017. P. 84.
6. Mitina I., Deaghileva A., Mitin et al. Molecular identification of phytopathogens in soil. In: Materials of the International scientific-practical Conference "The innovative aspect in improving agriculture". Paşcani. 2018. P. 578-582.
7. Srinivas C., Nirmala Devi D., Narasimha Murthy K. 2019. *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity – A review. Saudi Journal of Biological Sciences. Vol. 26. No 7. P. 1315-1324.

УДК 631.31. 551.5

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В
ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ ЦТЗ**

А. И. Беленков, А. С. Пискунова, Л. И. Щигрова
*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени
К.А. Тимирязева*

Технология точного земледелия превосходит традиционную технологию возделывания сельскохозяйственных культур в отношении качества проводимых мероприятий, экономии материальных и денежных средств на 15–20%, превышения по урожайности на 5–7%. В среднем различия по культурам в отношении влияния приемов обработки почвы составляло от 5–10 до 15–20% в пользу того или иного варианта.

**TECHNOLOGICAL FEATURES OF PRECISION FARMING IN THE FIELD
EXPERIENCE OF THE TSC**

A. I. Belenkov, A. S. Piskunova, L. I. Shcheglova
Russian state agrarian University – Timiryazev Moscow agricultural Academy

Precision farming technology is superior to traditional crop cultivation technology in terms of the quality of activities, saving material and money by 15–20%, and exceeding yield by 5–7%. On average, the differences between crops in terms of the impact of tillage techniques ranged from 5–10 to 15–20% in favor of one or another option.

Цель полевого опыта Центра точного земледелия, заложенного в 2008 г. в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева – оценить влияние общепринятой традиционной технологии возделывания полевых культур и технологии точного земледелия на урожайность опытных культур и почвенное плодородие. Обе технологии основаны на использовании современной сельскохозяйственной техники отечественного и импортного производства, спутникового программного обеспечения международной системы GPS, позволяющего рационально, точно проводить агротехнические приемы.

В четырехпольномзернопропашномсевообороте: викоовсяная смесь на корм – озимая пшеница с пожнивным посевом горчицы на сидерат – картофель – ячмень изучаются две технологий возделывания с.-х. культур (традиционная и точная), три варианта обработки почвы (отвальная, минимальная и нулевая).

Первый вариант содержал обработку оборотным плугом на 20–22 см под все культуры, второй – обработку культиватором на 12–14 см под картофель и ячмень. Вариант «нулевой» обработки (прямой посев) применялся только под озимую пшеницу и вику с овсом на корм (Балабанов и др., 2013].

Составным элементом точного земледелия является посев (посадка) с.-х. культур с использованием автопилота. Его работа основана на применении системы GPS, составными частями которой являются антенна, фиксирующая прием сигналов от спутников на данной местности и бортовые компьютеры, управляющими работой машин и агрегатов в системе точного земледелия [2]. В наших исследованиях посев озимой пшеницы и ячменя проводился, в случае традиционной технологии проводился по маркеру, в случае точной – по автопилоту. Посев зерновых культур на отвальном фоне осуществлялся сеялкой точного высева Д-9-30 с применением навигационного оборудования и маркера. По варианту нулевой обработки почвы (прямой посев) посев проводился пневматической сеялкой прямого посева ДМС-3 с использованием автопилота [3]. В годы исследований отмечалась различная ширина стыковых междурядий между встречными проходами сеялки при посеве озимой пшеницы, ячменя, вики с овсом (табл. 1) (Беленков и др., 2011).

При посеве зерновых культур, использование навигационного оборудования точного позиционирования обеспечивало размер стыковых междурядий несколько меньших размеров предусмотренных для данной операции величины, которая должна не выходить за рамки $\pm 2,5$ см. В среднем за 3 г., при посеве по автопилоту вики с овсом была равна $+0,3$ см.

Посев викоовсяной смеси и озимой пшеницы на делянках точного земледелия по нулевой обработке с применением навигационного оборудования на кормовой культуре отклонения составили $+0,2$ см, на зерновой – $+0,4$ см. Таким образом, испытание автопилота в системе GPS в течение указанного срока оказывало положительное влияние на качество и внешний вид посевов зерновых культур и викоовсяной смеси на корм.

Таблица 1. Ширина стыковых междурядий и величина отклонений от стандартной величины междурядий сеялки

Культура	Сеялка Д-9-30* (отвалный фон)				ДМС (минимальный)	
	по маркеру		автопилот		автопилот	
	ширина стыкового междурядья, см	отклонение, см	ширина стыкового междурядья, см	отклонение, см	ширина стыкового междурядья, см	отклонение, см
2009 год						
Ячмень	14,0	+2,0	12,3	+0,3	–	–
Вика+овес	–	–	10,7	–1,3	18,1	-0,7
Оз. пшеница	16,3	+4,3	14,3	+2,3	17,3	-1,5
2010 год						
Ячмень	15,2	+3,2	13,2	+1,2		
Вика+овес	–	–	13,7	+1,7	19,1	+0,3
Оз. пшеница	17,0	+5,0	13,5	+1,5	20,2	+1,4
2011 год						
Ячмень	16,1	+4,1	14,6	+2,6	-	=
Вика+овес	–	–	12,6	+0,6	20,0	+1,2
Оз. пшеница	17,0	+5,0	13,5	+1,5	20,2	+1,4
Среднее						
Ячмень	15,2	+3,2	13,4	+1,4	–	–
Вика+овес	–	–	12,3	+0,3	19,0	+0,2
Оз. пшеница	16,7	+4,7	13,8	+1,8	19,2	+0,4

Примечание: * – ширина междурядий сеялок Д-9-30 – 12 см, ДМС – 18,8 см; викоовсяная смесь высевалась только с использованием автопилота по обоим вариантам обработки почвы.

На рис. 1 показан внешний вид посевов ячменя разными способами посева по маркеру и автопилоту.



Рис. 1. Вид посевов ячменя, осуществленного по маркеру (слева) и по автопилоту (справа)

Посадка картофеля в те же проводилась картофелесажалкой GL-34T со стандартным междурядьем 75 см по автопилоту и маркеру (табл. 2). Заданная траектория движения посевного агрегата, с использованием системы GPS, повторяется в ходе проведения гребнеобразования по всходам картофеля.

Таблица 2. Ширина смежных междурядий и расположение растений картофеля на гребне при различных технологиях возделывания

Год	Ширина стыковых междурядий при посадке, см		Отклонение расположения растений от центра гребня, см	
	маркер	автопилот	маркер	автопилот
2008	от 62 до 85	75 ± 3,5	от центра ± 10–13	от центра ± 3,5
2009	от 65 до 81	75 ± 2,8	от центра ± 6–10	от центра ± 2,8
2010	от 60 до 80	75 ± 3,3	от центра ± 5–15	от центра ± 3,3
2011	от 70 до 90	75 ± 1,5	от центра ± 5–15	от центра ± 1,5
Среднее	от 64 до 84	75 ± 2,8	от центра ± 7–13	от центра ± 2,8

По традиционной технологии возделывания картофеля этот прием проводится при визуальном управлении агрегатом механизатором [4]. Отклонение ширины междурядий между проходами картофелесажалки при использовании маркера и автопилота составила по традиционной технологии интервал в среднем от –10 до +15 см. Применение системы GPS при выполнении технологии точного земледелия обеспечивало отклонение в прямолинейности смежных рядков от 1,5 до 3,5 см. Проведение гребнеобразования в посадках картофеля по традиционной технологии, обеспечивало формирование растений картофеля с отклонениями от центра от 5 до 15 см. Это обуславливало односторонние изменения нарастания вегетативной части, неравномерность в образовании и развитии клубней. По технологии точного земледелия растения располагались практически по центру рядка с допустимым отклонением порядка 1,5–3,5 см (рис. 2).



Рис. 2. Посадка картофеля и гребнеобразование по автопилоту

Важным представляется элемент системы точного земледелия – внесение удобрений в зависимости от состояния культурных растений с применением специальных приборов, корректирующих количество вносимых удобрений (Беленков и др., 2018). В полевом опыте Центра точного земледелия проведение корневых подкормок озимой пшеницы аммиачной селитрой проводилось дважды: после схода снега (при возобновлении вегетации ранней весной) и в фазу колошения. Обе подкормки проводились с учетом развития биомассы посевов с использованием оптического датчика N-sensorALS Yara. На примере 2014 г. можно проследить влияние подкормок на урожайность озимой пшеницы (рис. 3).

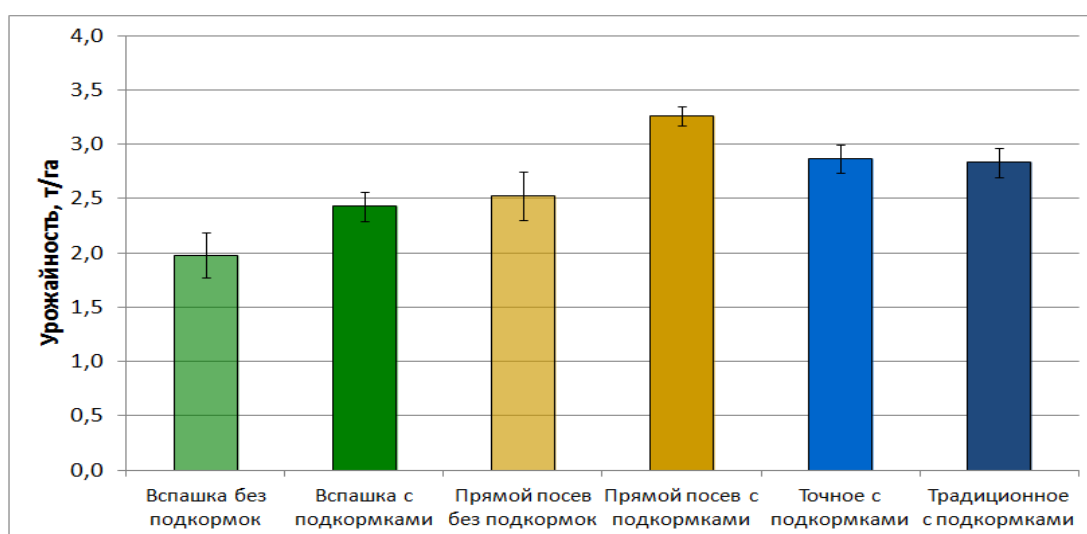


Рис. 3. Урожайность озимой пшеницы на разных вариантах опыта в 2014 г.

Наиболее заметна разница в урожайности озимой пшеницы при сравнении делянок с применением подкормки по двум обработкам почвы: на варианте «прямой посев» урожайность была выше на 0,8 т/га по сравнению с вариантом «вспашка». При применении подкормок на варианте «вспашка» урожайность выросла на 20% по сравнению с контролем (без подкормки) т. е. 2,4 и 1,9 т/га соответственно, на варианте «прямой посев» – на 29% (3,3 и 2,5 т/га соответственно). По отвальной обработке на точной технологии различия составляли 0,29 т/га, по нулевой при традиционной – 0,67 т/га. Существенной разницы между урожайностью озимой пшеницы при возделывании по различным технологиям не выявлено. Наибольшая разница в урожайности по вариантам опыта связана с применением азотных подкормок. В 2014 г. на фоне применения азотных подкормок в дозах 2×70 кг/га в традиционном земледелии или $2 \times 60-80$ (дифференцированно) кг/га в точном земледелии урожайность повысилась по сравнению с контролем без подкормок на 0,3–0,8 т/га. В годы с хорошим увлажнением урожайность дозах повышается на 1,5–2 т/га.

Оценка содержания элементов питания почвы каждого конкретного участка поля предполагает отбор огромного количества почвенных проб, после чего определяется содержание в них азота, фосфора, калия, микроэлементов, при этом формируется электронная карта плодородия. Она загружается в специальную программу SMSAdvanced, формирующую задания для бортового компьютера агрегата для внесения удобрений. В результате на каждый квадратный метр поля будет внесено именно столько удобрений и микроэлементов, сколько необходимы именно этому участку. Есть другой способ получения того же результата. Можно идти от обратного и анализировать не состояние почвы, а во время уборки определять урожайность не в среднем, а на каждом конкретном участке поля. Исходя из этого, составляется карта урожайности того или иного поля (рис. 4).

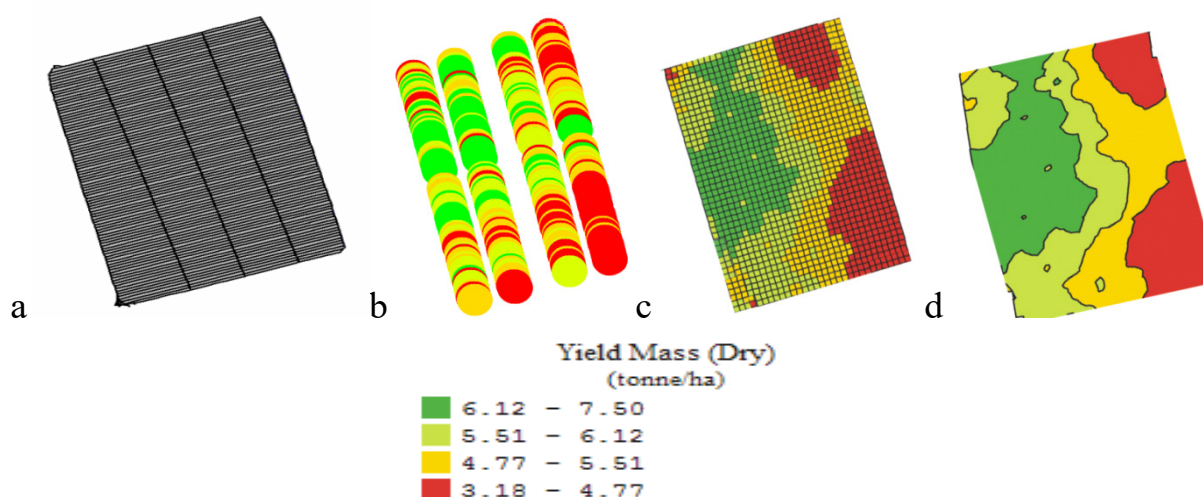


Рис. 4. Различное представление данных об урожайности с.-х. культур:
 а) сетка сплошного учета урожайности; б) точки по центру каждой ячейки сетки сплошного учета, размер точки 10 м; в) сетка 3×3 м; г) контур.

По этой карте, зная, какие участки с большей или меньшей урожайностью, можно планировать программу внесения удобрений, возвращая почве то количество питательных элементов, которое забрали.

Урожайность – важнейший показатель эффективности и продуктивности посева культур, который зависит не только от применяемой технологии, метеоусловий вегетационного периода и от неоднородности почвы (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность с.-х. культур в полевом опыте ЦТЗ, т/га

Культура	Технология	Обработка почвы	Урожайность по годам, т/га								
			2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Ср.
Вика + овес	точная	отвальная	20,6	22,1	24,5	31,2	25,3	22,8	13,8	7,6	21,0
		нулевая	27,3	24,3	25,3	28,9	27,5	6,0	11,5	3,8	19,3
Оз. пшеница	точная	отвальная	6,31	6,12	2,75	7,05	5,00	5,46	5,46	3,59	5,22
		нулевая	6,15	5,87	4,59	6,86	5,52	5,05	4,83	2,55	5,18
	традиционн	отвальная	6,52	5,80	2,78	6,92	4,88	5,31	5,39	3,50	5,14
		нулевая	6,35	5,62	4,56	6,78	5,44	5,13	4,80	2,49	5,15
Картофель	точная	отвальная	19,9	28,6	25,1	32,9	31,0	25,8	27,4	33,5	28,0
		минимал	18,3	25,9	24,6	27,8	26,7	22,5	25,2	27,5	24,8
	традиционн	отвальная	19,1	27,6	24,9	30,0	30,3	23,7	26,6	32,8	26,9
		минимал	17,5	26,2	23,8	24,6	25,6	20,8	24,7	27,0	23,8
Ячмень	точная	отвальная	4,33	5,16	3,85	5,55	4,04	4,29	3,70	2,62	4,19
		минимал	4,20	5,00	4,01	5,21	3,99	4,04	3,79	2,76	4,13
	традиционн	отвальная	4,26	5,20	3,88	5,50	3,95	4,12	3,70	2,60	4,15
		минимал	4,18	4,95	4,03	5,27	3,90	3,90	3,73	2,75	4,09

В среднем за период исследований существенных различий в отношении влияния технологии возделывания на урожайность сельскохозяйственных культур не установлено. По большинству лет проявлялось преимущество точного земледелия на картофеле, в отдельные годы на озимой пшенице.

При оценке различий в урожайности по вариантам обработки почвы следует отметить, что они лучше реагировали на вспашку. Неоднозначно выглядит влияние отвальной и минимальной обработок на урожайность ячменя. В половине лет периода исследований преимущество за минимальной обработкой, но говорить о существенности различий не приходится, поскольку в среднем они составляли всего 0,06 т/га в пользу вспашки. Достаточно отчетливо в начале исследований отмечается более высокая урожайность зеленой массы викоовсяной смеси на прямом посеве, однако в последние годы приоритет принадлежит отвальной обработке, за период он составил 1,7 т/га. За все годы исследований урожайность клубней картофеля по вспашке превышала минимальную обработку по точной технологии на 3,2 т/га, по традиционной – на 3,1 т/га (Беленков и др., 2019).

Таким образом, в полевом опыте Центра точного земледелия реализуются задачи экономии средств и экологической безопасности, при использовании автопилота все агроприемы могут выполняться качественно и круглосуточно. Однако четкого преимущества точной технологии, исходя из урожайности с.-х. культур, не выявлено. Под отдельные культуры севооборота, за исключением картофеля, следует применять комбинированную систему обработки дерново-подзолистой почвы, сочетающую отвальный, минимальный и нулевой (Alexey Belenkov, Mikhail Mazirov, Valeria Arefieva, 2018).

Список литературы

1. Балабанов В.И. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие: Учебное пособие / В.И. Балабанов, С.В. Железова, Е.В. Березовский, А.И. Беленков, В.В. Егоров. М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2013. 48 с.
2. Беленков А.И., Железова С.В., Березовский Е.В., Мазиров М.А. Элементы технологии точного земледелия в полевом опыте РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева // Известие ТСХА. 2011. Вып. 6. – С. 90–100.
3. Беленков А.И., Полин В.Д., Железова С.В. Результаты полевого опыта Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Нивы России. № 5(160), июнь. 2018. С. 42–57.
4. Беленков А.И., Березовский Е.В., Железова С.В. Совершенствование технологии возделывания картофеля в системе точного земледелия // Картофель и овощи. 2019. № 6. С. 30–34.
5. Alexey Belenkov, Mikhail Mazirov, Valeria Arefieva Theoretical and practical aspects of basic soil treatment in the conditions of modern soil management systems in Russia // Eurasian Journal of Soil Science. 2018. № 7(4). P. 300–307.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ПОСЕВАХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

В. Е. Веллер, А. С. Салмин, И. М. Черкасов, С. В. Железова
ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет –
МСХА им. К.А. Тимирязева

Два инструментальных метода обнаружения сорной растительности в агроценозах озимой пшеницы были опробованы на полигоне Центра точного земледелия РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева. Первый метод основан на применении вегетационного индекса NDVI с вычислением его превышения над пороговым значением нормально развитого посева пшеницы при распространении в посевах злакового сорняка ковра полевого (*Bromus arvensis*). Определение распространения ковра проводили по карте NDVI, построенной по результатам обследования прибором GreenSeeker RT-200. Второй метод основан на обработке фотоизображений посевов озимой пшеницы с высокой степенью засорённости двудольным многолетним сорняком одуванчиком лекарственным (*Taraxacum officinale*). Съёмку поля проводили с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 4 с установленной на борту мультиспектральной камерой Parrot Sequoia. Затем вычисляли количество экземпляров одуванчика с применением алгоритмов нейронных сетей Neural Net программного обеспечения ENVI.

Ключевые слова: вегетационный индекс NDVI, *Bromus arvensis*, *Taraxacum officinale*, агроценоз, зерновые культуры, машинное зрение, нейронные сети

INSTRUMENTAL METHODS FOR DETECTION WEEDS IN CEREAL CROPS

V. E. Veller, A. S. Salmin, I. M. Cherkasov, S. V. Zhelezova.

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

Two instrumental methods for detecting weed vegetation in winter wheat agrocenoses were tested at the Long-term field experiment of Precision Agriculture Center of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Academy. Two species of weeds (*Bromus arvensis* and *Taraxacum officinale*) were recognized at the winter wheat crops in 2018 and 2020. The first method is based on the use of the vegetation index NDVI with the calculation of its excess over the threshold value of a normally developed wheat crop compared with spreading of *Bromus arvensis* in crops. Data for the detection of *Bromus arvensis* in the crop was obtained using the Green Seeker RT-200. At the first half of the vegetation season (up to the middle of June) the NDVI in the presence of Bromus was higher by 0.07, and at the end of June the NDVI of Bromus became lower by 0.10 in compare with clear winter wheat plots without Bromus. The value of NDVI can be the indicator of *Bromus arvensis* presence in cereal crops. The second method is based on processing photo images of winter wheat crops with a high degree of contamination with dandelion (*Taraxacum officinale*). The crop field with dandelions was photographed using a DJI Phantom 4 completed with a Parrot Sequoia multispectral camera. The spatial resolution of the survey images was 5 cm/pixel. Neural Net of ENVI software was used for flowering weed dandelion recognizing. The accuracy of detecting the weeds dandelion presence in crops was 36–56% in automatic mode by RGB, and 84–86% by ENVI. Instrumental methods of weed detection in cereal crops can be recommended for a variable rate technology of herbicide use.

Keywords: NDVI, *Bromus arvensis*, *Taraxacum officinale*, agrocenosis, cereal crops, machine vision, neural networks

Введение

Чрезмерное применение гербицидов оказывает негативное влияние на здоровье человека, окружающую среду и конкурентоспособность сельского хозяйства (Silva et al., 2018). Чтобы снизить себестоимость продукции растениеводства и в целом пестицидную нагрузку нужно переходить на дифференцированное внесение гербицидов (Марченко с соавт., 2017). Создание карт предписания делится на несколько этапов (Труфляк, 2019), одним из которых является обнаружение сорной растительности. Для мониторинга засорённости посевов можно использовать различные инструментальные методы (Архипова с соавт., 2014; Nieróbca et al., 2009; Чабан с соавт., 2012; Шпанев, Лекомцев, 2012).

Цель исследований: провести апробацию инструментальных методов обнаружения сорного компонента в посевах озимой пшеницы.

Материалы и методы

Исследование проведено в 2018 и 2020 гг. на полигоне Центра точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева. Объектом исследования были посевы озимой пшеницы, возделываемые в севообороте по традиционной технологии на основе классической вспашки (далее – вспашка) и по нулевой технологии обработки почвы с применением прямого посева. Две технологии обработки почвы размещены на поле в виде стационарных параллельных полос, и в двукратной повторности воспроизводятся на полигоне на постоянных местах с 2008 года. Во время вегетации проводят еженедельный мониторинг динамики NDVI посева с применением приборов GreenSeeker RT200 и GreenSeeker Handheld (Trimble), а также проводят съёмку посевов с БПЛА 2–3 раза в сезон. Засорённость посевов определяют в фазу конец кущения, выход в трубку (ВВСН 29–39).

В 2018 г. по индексу NDVI в фазу пшеницы выход в трубку определяли наличие пятен засорённости костром полевым, присутствие которого в посевах легко детектировать по превышению среднего значения NDVI. В 2020 г. определяли присутствие одуванчика по распознаванию желтых цветущих

корзинок на фотографиях в естественных цветах с БПЛА. Разрешающая способность съёмки с БПЛА составляла 5,2 см/пиксель. Для распознавания цветущих экземпляров одуванчика использовали детекцию по цветовой шкале со скользящим окном 150×150 пикселей, что соответствует квадрату 3×3 м на местности. Растения одуванчиков, расположенные по несколько штук в одном месте, объединяли в общие кластеры, т.к. при данной процедуре классификации изображения сложно выделить отдельные растения из кластера из-за тона, насыщенности и яркости фотоизображения. Так же для детекции использовали модуль Neural Net программного обеспечения ENVI, с помощью которого проводили классификацию объектов на поле: озимая пшеница, почва, растения одуванчиков. Верификация оценки распознавания цветущих одуванчиков по фото была проведена путем сравнения с визуальной экспертной оценкой фотоизображений. Точность автоматического распознавания по RGB изображению составила 54,2 %, точность определения через классификацию ENVI составила 85,1 %.

Результаты и обсуждение исследований

В многолетнем полевом эксперименте Центра точного земледелия, как правило, на варианте нулевой обработки засорённость посевов всегда в несколько раз выше, чем на варианте вспашка (Железова, 2019). Эта же тенденция была отмечена в годы наблюдений 2018 и 2020. Пространственная картина распространения сорных растений связана со способом и направлением обработки почвы, а также с проявлением краевых эффектов по границам поля.

Результаты определения засорённости посевов костром полевым. Участки с повышенной засорённостью костром полевым были приурочены к северной границе поля и к центральной зоне у стационарно расположенной (с 2013 г.) метеовышки. Эти локации мы рассмотрим, как пример применения индекса NDVI для выявления присутствия костра в посевах. В табл. 1 приведены даты съёмки и значения NDVI на засорённых и не засорённых участках.

Костер полевой является озимым сорняком, но проходит фазы развития быстрее, чем озимая пшеница. Поэтому в первой половине весенне-летнего

периода вегетации участки, засорённые костром на уровне около 100 шт./м², имеют NDVI на 0,07–0,08 ед. выше, чем посевы, чистые от костра. Костер созревает на 2–3 недели раньше, чем пшеница, поэтому в фазу развития пшеницы ранняя молочная спелость, растения костра уже полностью высохшие, что приводит к снижению показателя NDVI на таких местах на 0,1 ед. по сравнению с местами без костра (таблица 1).

Таблица 1 – Фазы развития озимой пшеницы и NDVI посевов засорённых костром и без костра

Даты обследования, 2018 г.	Фаза развития		NDVI участков посева		Разность NDVI засорённых и чистых участков посева
	озимой пшеницы	костра	без костра	с преобладанием костра	
29.05.	Выход в трубку - колошение (ВВСН 39-41)	Цветение (ВВСН 59-61)	0,56 ± 0,01	0,64 ± 0,01	0,08
07.06.	Конец колошения - начало цветения (ВВСН 59-61)	Конец цветения (ВВСН 69-73)	0,58 ± 0,01	0,65 ± 0,01	0,07
19.06.	Конец цветения – ранняя молочная спелость (ВВСН 69-73)	Полное созревание (ВВСН 87-91)	0,58 ± 0,01	0,48 ± 0,02	– 0,10

На фрагментах пространственных карт от 29.05.2018 и 07.06.2018 (рис. 1) можно увидеть ярко выраженные участки с повышенной засорённостью посевов костром (темно зелёные зоны). Значение NDVI на этих участках превышает 0,6. После 19.06.2018 индекс NDVI участков с присутствием костра полевого снижается, и становится ниже 0,5, при этом NDVI пшеницы все ещё остаётся на достаточно высоком уровне.



Рис. 1 – Визуальное представление NDVI участка поля

с высокой численностью костра полевого в разные сроки наблюдения

Так как коствёр полевой весной развивается быстрее, чем озимая пшеница, его обнаружение в посевах по индексу NDVI возможно в момент, когда озимая пшеница находится в фазе конец кущения, а коствёр в фазах середина кущения – выход в трубку. Для борьбы с сорняком в этот период можно применять гербициды: Паллас 45, МД; Аксиал, КЭ; Траксос, КЭ, потому что данные препараты могут быть эффективны даже после фазы кущения.

Результаты определения засорённости посевов одуванчиком.

С помощью двух методов обнаружения на RGB изображениях удалось с разной точностью обнаружить и подсчитать количество одуванчиков на поле (рис. 2, табл. 2). Модуль Neural Net программного обеспечения ENVI (рис. 3) оказался точнее на 30,9 % в сравнении с компьютерным зрением (рис. 2).



Рис. 2 – Детекция одуванчиков на RGB изображениях с помощью машинного обучения (фрагмент снимка поля, вариант «Нулевая обработка почвы»)

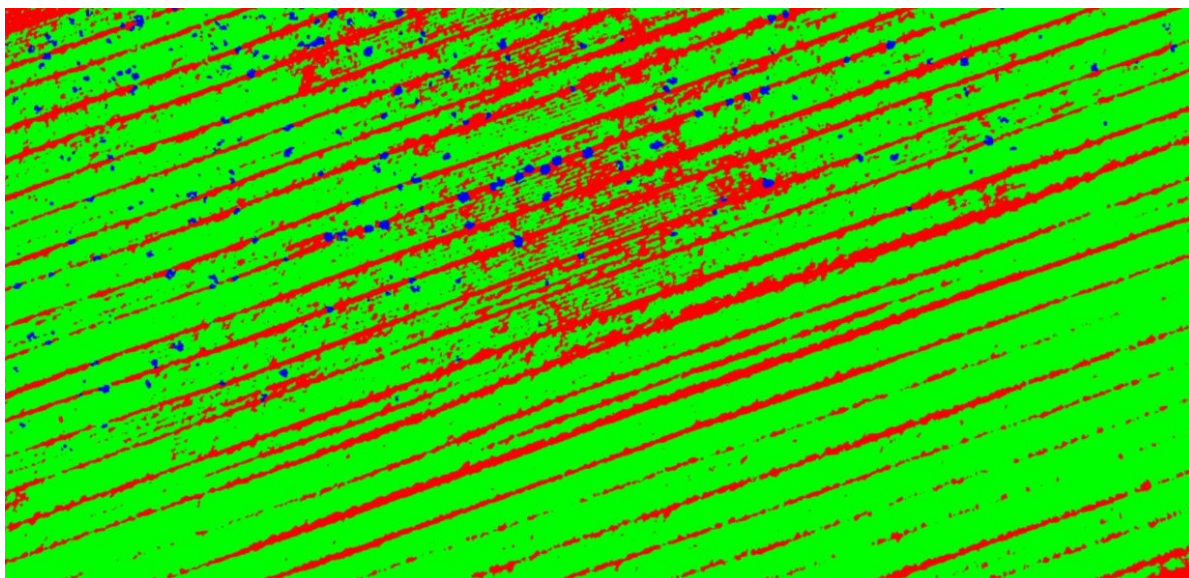


Рис. 3 – Детекция одуванчиков с помощью модуля Neural Net программного обеспечения ENVI (фрагмент снимка поля; верхняя часть рисунка – вариант «Нулевая обработка почвы», нижняя часть – вариант «Вспашка»)

Высокая численность одуванчика в посевах на варианте опыта «Нулевая обработка почвы» была обусловлена тем, что осенняя обработка (октябрь 2019 г.) гербицидом Алистер Гранд, МД не дала ожидаемого эффекта против данного многолетнего сорняка, в то время, как другие виды сорных растений были сильно угнетены. В мае установилась дождливая погода, поэтому к 13.05.2020 одуванчики массово зацвели, что позволило выявить очаги распространения данного вида с высокой точностью. На полосе № 4 с нулевой обработкой, где была самая большая засоренность, лучший результат детекции составил 85,8% с помощью программного обеспечения ENVI и 56,6% с помощью компьютерного зрения. На полосе № 3 (вспашка) одуванчики были компактно расположены редкими группами, что не позволило в автоматическом режиме распознать отдельные растения с высокой точностью (табл. 2).

Показано, что результат экспертной оценки на основе прямого подсчёта количества цветущих экземпляров одуванчика в посевах значительно отличается от результатов автоматического распознавания численности сорняка. Несмотря на данные несоответствия, для целей выборочной обработки посевов от одуванчика в производственных условиях можно рекомендовать автоматическое распознавание уровня засорённости. Для создания файла предписания на

обработку в дифференцированных дозах необходимо будет определить численное значение порога засорённости с учётом площади распространения данного сорняка на поле, и далее в автоматическом режиме выделить контура под обработку.

Таблица 2 – Результаты автоматической и экспертной визуальной оценки количества цветущих растений одуванчика на поле

Вариант опыта	Оценка количества цветущих растений одуванчика			Точность автоматической оценки количества одуванчиков	
	автоматическая по RGB	автоматическая по ENVI	визуальная экспертная (подсчёт)	RGB	ENVI
Нулевая обработка, 2 полоса	491 шт.	744 шт.	867 шт.	56,6 %	85,8 %
Вспашка, 2 полоса	3 шт.	10 шт.	18 шт.	16,6 %	55,5 %
Нулевая обработка, 1 полоса	29 шт.	67 шт.	80 шт.	36,3 %	83,8 %
Вспашка, 1 полоса	0 шт.	0 шт.	0 шт.	100 %	100 %

Выводы

Для мониторинга сорной растительности в производственных условиях можно использовать метод обнаружения с помощью вегетационного индекса NDVI, т.к. он является общедоступным. Метод компьютерного зрения и нейронных сетей для определения видового состава требует более дорогостоящего программного обеспечения, оборудования для расчётов и привлечения высококвалифицированных специалистов для обработки данных, что в свою очередь увеличивает себестоимость вхождения данной технологии в производственный процесс. Оба эти метода инструментальных обследований можно рекомендовать для разработки сценариев дифференцированной обработки посевов зерновых культур от сорняков при переходе к технологиям точного земледелия.

Список литературы

1. Nieróbca A., Pudełko R., Kozyra J. Zastosowanie zdalnych metod w analizie zachwaszczenia pól testowych // Progress in Plant Protection. Postępy w Ochronie Roślin. 2009. № 49(4). P. 1622–1629.
2. Silva V, Mol HGJ, Zomer P, Tienstra M, Ritsema CJ, Geissen V (2018) Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded. Science of The Total Environment, 2019; 653: 1532 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.441
3. Архипова О. Е., Качалина Н. А., Тютюнов Ю. В., Ковалев О. В. Оценка засоренности антропогенных фитоценозов на основе данных дистанционного зондирования Земли (на примере амброзии полыннолистной) // Исследование Земли из космоса. 2014. № 6. С. 15–26.
4. Железова С.В. Прямой посев и вспашка: десятилетний комплексный мониторинг агрофитоценозов в Центре точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева // Сборник научных трудов ГНБС. – 2019. – Т. 148. – С. 60–67.
5. Марченко Л.А., Личман Г.И., Смирнов И.Г., Мочкова Т.В., Колесникова В.А. Дифференцированное внесение удобрений и пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017; (3): 17–23.
6. Труфляк, Е.В., Точное земледелие/ В.Е. Труфляк – Санкт-Петербург, Краснодар, Москва: Лань, 2019. – 210 с.
7. Чабан Л. Н., Капитонова К. Н., Митрофанов Е. М., Николенко А. А., Штейнберг О. М. Определение засоренности сельскохозяйственных культур по самолетным гиперспектральным изображениям // Современные мировые тенденции в производстве и применении биологических и экологических малоопасных средств защиты растений. Краснодар, 2012. С. 436–439
8. Шпанев А. М., Лекомцев П. В. Новые подходы к методике учета сорных растений // Защита и карантин растений. 2012. № 8. С. 38–41.

ФРАКТАЛЬНАЯ КОМПОЗИЦИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ СООТНОШЕНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ

Н. И. Воробьев¹, Я. В. Пухальский¹, О. В. Свиридова¹, В. Н. Пищик^{1,2},
Т. В. Панфёрова³, Г. К. Ивахнюк³

¹ФГБНУ ВНИИСХМ, ²ФГБНУ АФИ, ³СПбГТИ (ТУ)

Аннотация. В данной работе определено идеальное фрактальное соотношение основных химических элементов в клеточных структурах растений. Внешние биотические и абиотические факторы нарушают это соотношение. Индекс фрактальной композиции дает количественное представление об отклонении между реальным распределением и идеальным распределением химических элементов в растениях. Индекс фрактальной композиции позволил сравнить результаты электромагнитных воздействий на растения и воздействие *Agrobacterium*.

Ключевые слова: индекс фрактальной композиции количественных соотношений химических элементов в растениях, электромагнитные воздействия на растения.

FRactal Composition of Quantitative Relations of Chemical Elements in Plants

N. I. Vorobyov¹, Ya. V. Pukhalsky¹, O. V. Sviridova¹, V. N. Pishchik^{1,2},
T. V. Panferova³, G. K. Ivakhnyuk³

¹ARRIAM, ²AFI, ³State Institute of Technology

Abstract. In this work determined the ideal fractal ratio of the main chemical elements in the cellular structures of plants. External biotic and abiotic factors violate this ratio. The fractal composition index gives a quantitative idea of the deviation between the real distribution and the ideal distribution of chemical elements in plants. The fractal composition index made it possible to compare the results of electromagnetic effects on plants and the effects of *Agrobacterium*.

Key words: the index of fractal composition of quantitative ratios of chemical elements in plants, electromagnetic effects on plants.

Введение.

К абиотическим факторам, влияющим на развитие растений, относятся электромагнитные поля. Слабые электромагнитные поля способны дистанционно перенаправлять каскадные биохимические реакции в растениях и блокировать регуляторные биохимические сигналы, индуцируемые метагеномами. Электромагнитные поля воздействуют на биохимические реакции опосредованно через водную среду, находящуюся внутри растений. При этом меняется соотношение двух изомеров молекул H₂O – орто- и пара-молекул H₂O (6. Pershin, 2009; 4. Kravchuk, 2011; 2. Жуков, 2011). Исходно, в водной среде орто- и пара-молекулы H₂O сосуществуют в соотношении 3:1.

Электромагнитные поля могут резонансно возбуждать молекулы H₂O и изменять спиновую ориентацию атомов в молекулах воды, что изменяет соотношение орто- и пара-молекул H₂O. При возрастании доли орто-молекул в водной среде увеличивается скорость диффузии, адсорбции и ионного обмена на клеточном уровне в растениях, а также интенсифицируются сигнальные взаимоотношения растений с микроорганизмами.

Химический состав растительных клеток предопределен химическими формулами клеточных белков. Установлено, что соотношение основных химических элементов в растениях представляет собой убывающий по значениям числовой ряд относительных молярных масс (табл. 1).

Таблица 1. Содержание химических элементов в растениях (по данным литературы) и координаты условных изображений элементов на фрактальном портрете (рис. 1А)

Элементы	Кол-во, мМол/Г	Y-координата	X-координата
H	100	0	-1
O	32,2	-1,637	-0,637
C	16,1	-2,632	-0,632
N	2,04	-5,616	-0,616
Ca	0,514	-7,605	-0,605
P	0,258	-8,599	-0,599
K	0,129	-9,594	-0,594
S	0,065	-10,589	-0,589
Cl	0,0326	-11,583	-0,583
Na	0,0164	-12,578	-0,578
Mg	0,0164	-12,578	-0,578
Fe	0.00207	-15,562	-0,562
Mn	1,31 10 ⁻⁵	-19,540	-0,540
F	6,58 10 ⁻⁶	-20,535	-0,535
Cu	3,30 10 ⁻⁶	-21,529	-0,529
Zn	3,30 10 ⁻⁶	-21,529	-0,529
I	8,32 10 ⁻⁷	-23,519	-0,519

Фрактальный портрет (рис. 1А) количественного соотношения химических элементов в растениях представляет собой двумерную координатную плоскость, на которой каждый химический элемент может быть представлен кружком (или другой фигурой) с Y- и X-координатами, вычисляемыми по формулам (1) (1. Воробьев, 2013):

$$\begin{cases} Y_i = \log_2(p_i/p_{\max}) \\ X_i = \text{дробная часть } \log_2(p_i/p_{\max}) \end{cases} \quad (1)$$

где p_i , p_{\max} – относительные количества химического элемента с номером (i) и элемента, присутствующего в максимальном относительном количестве.

Методика эксперимента

Эксперимент по воздействию электромагнитных полей на растения лука севка проводился в учебно-экспериментальном тепличном комплексе (ЛГУ им. Пушкина, Санкт-Петербург), используя фитотрон, в котором в течение опыта автоматически поддерживались стабильные показатели микроклимата и инсоляции и изучались два вида электромагнитного воздействия на растения: 1 и 4 вар. (Контроль) – стерильная питательная среда и растения в течение всего опыта были изолированы от внешних биотических и электромагнитных воздействий, и применялся Агрофил (микробиологический препарат на основе *Agrobacterium*); 2 и 5 вар. (ЭМВ) – стерильная питательная среда и растения каждые сутки в течение часа облучались электромагнитным полем устройства (Тарасенко, 2004), и применялся Агрофил; 3 и 6 вар. (ЭЛВ) – стерильная питательная среда каждые сутки в течение часа подвергались электролитическому воздействию, и применялся Агрофил. В конце опыта измерялось молярное соотношение Na, Mg, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Co, Mo, Ni в корнях и листьях растений.

На рисунках 1Б и 1В представлены фрактальные портреты соотношения химических элементов в растениях в вариантах 2 и 5.

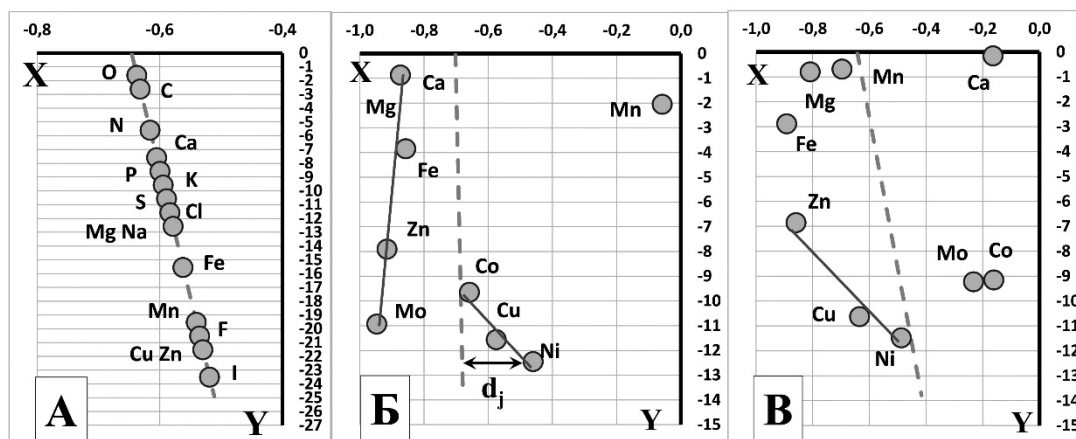


Рис. 1. Фрактальные портреты количественных соотношений химических элементов: А – из таблицы 1, Б – вариант опыта 2; В – вариант опыта 5. X- и Y-координаты кружков, представляющих химические элементы, рассчитываются по формулам (1). Сплошными линиями объединены химические элементы, соответствующие фрактальному степенному закону. Пунктирные линии представляют идеальное фрактальное соотношение химических элементов в растениях. d_j – отклонение от идеального фрактального распределения химического элемента с номером (j).

Отклонение реального соотношения химических элементов от идеального фрактального соотношения рассчитывали с помощью индекса фрактальной композиции, который вычислялся по следующей формуле:

$$I_F = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^{j=N} d_j^2}, \quad (2)$$

$$\text{где } d_j = X_j - a_{\min} \cdot (Y_j - Y_{CP}) - X_{CP}; \quad X_{CP} = \frac{1}{N_F} \cdot \sum_{j=1}^{j=N_F} X_j; \quad Y_{CP} = \frac{1}{N_F} \cdot \sum_{j=1}^{j=N_F} Y_j; \quad Y_j = \log_2(p_j/p_{\max})$$

; X_j – дробная часть $\log_2(p_j/p_{\max})$; p_i, p_{\max} – относительные количества химического элемента с номером (i) и элемента, присутствующего в максимальном относительном количестве; a_{\min} – коэффициент линейной аппроксимации соотношения химических элементов, при котором индекс I_F минимальный.

По результатам элементного анализа корней и стеблей лука были вычислены индексы фрактальной композиции соотношения химических элементов в растениях и построены диаграммы (рис. 2).

Обсуждение результатов. Сравнение соотношения химических элементов в растениях по вариантам опыта и анализ отклонений этих соотношений от идеального фрактального соотношения продемонстрировал

большее влияние внешней среды на процессы в корнях растений, чем при формировании надземной части растений. Потому, что во всех вариантах опыта индекс фрактальной композиции в корнях растений был меньше, чем в листьях растений. Два вида электромагнитного воздействия оказали разное воздействие на процессы в растениях при применении Агрофила. Уменьшение индекса фрактальной композиции в вариантах 2 и 5 (с Агрофилом) означает, что внешнее электромагнитное поле препятствует взаимодействию микроорганизмов и растений. Варианты 3 и 6 демонстрируют противоположный эффект от электролитического воздействия на питательную среду при применении Агрофила. Возможно, ионизация питательной среды с помощью электродов ускоряет биохимические реакции в растениях и способствует лучшей реализации микробно-растительных взаимодействий.

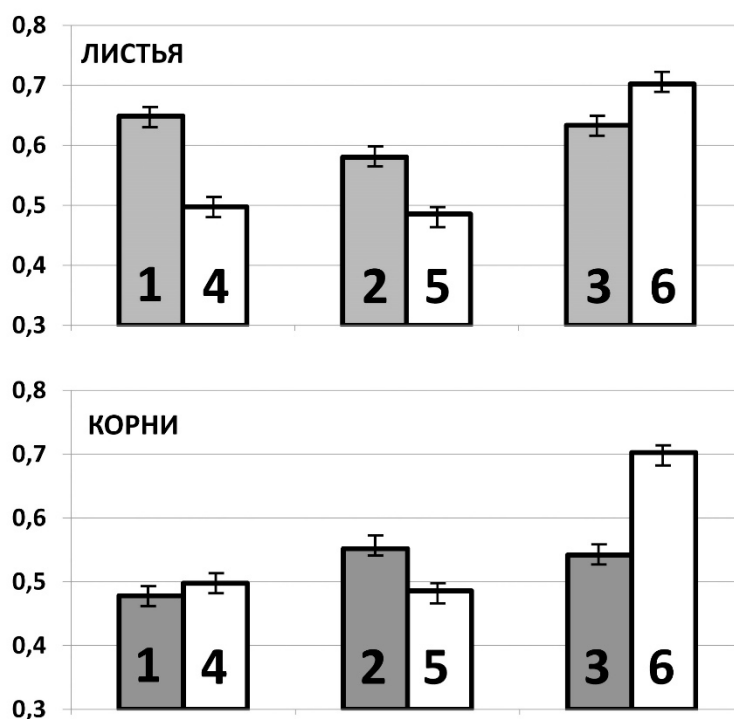


Рис. 2. Значения индексов фрактальной композиции соотношения химических элементов в листьях и корнях растений по вариантам опыта. Цифры означают номера вариантов опыта.

Работа выполнена по теме Государственного задания № 0664-2019-0025.

Список литературы

1. Воробьев Н.И., Свиридова О.В., Патыка Н.В., Думова В.А., Мазиров М.А., Круглов Ю.В. Фрактально-таксономический портрет микробного сообщества как биоиндикатор вида почвенных деструктивных процессов / Сб. конференции, «Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред» // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2013. С. 38.
2. Жуков А.В. Влияние электромагнитного поля на поверхностное натяжение и устойчивость поверхностей раздела поляризующихся и намагничивающихся жидкостей / Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. Т. 4. Вып. 3. С. 781–783.
3. Тарасенко В.Я., Толмачев С.Ю. Устройство для обработки воды или водных растворов «Акватор» // Патент РФ № 2297392 от 28.12.2004. Интернет ресурс: <http://bd.patent.su/2297000-2297999/pat/serv1/servlet5dd-2.html>
4. Kravchuk T, Reznikov M, Tichonov P, Avidor N, Meir Y, Bekkerman A, Alexandrowicz G. A Magnetically Focused Molecular Beam of Ortho-Water / Science. 2011. 331(6015), 319-321. doi: 10.1126/science.1200433.
5. Nauš J., Prokopová J., Řebíček J., Špundová Y.M. SPAD chlorophyll meter reading can be pronouncedly affected by chloroplast movement. Photosynth. Res. 2010. 105. 265–271.
6. Pershin S. M., Bunkin A. F., Anisimov N. V., Pirogov Yu. A., Water Enrichment by H₂O ortho-Isomer: Four-Photon and NMR Spectroscopy / Laser Physics. 2009. 19(3), 410–413.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

В. Я. Гольтяпин

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» («Росинформагротех»)

Рассмотрены основные направления цифровизации селекции и семеноводства. Установлено, что цифровые технологии позволяют наиболее полно раскрыть генетический потенциал растений и повысить эффективность процесса создания новых сортов.

THE MAIN AREAS OF DIGITALIZATION OF BREEDING AND SEED PRODUCTION

V. Ya. Golytchin

Russian Research Institute of Information and Feasibility Study on Engineering Support of Agribusiness, the Federal State Budgetary Scientific Institution (Rosinformagrotekh FSBSI)

One of the important areas of increasing efficiency in all sectors of agriculture including in breeding and seed production is the expansion of the use of digital technologies. In order to exercise the powers of the federal executive body in the field of seed production of agricultural plants, as well as to automate the informing of citizens, the Ministry of Agriculture of Russia is developing a system of traceability of seeds of agricultural plants called Seed Production Federal State Information System. Thanks to the control of seed production at different stages of production, users will be able to receive all the necessary information about the quality of seeds including using mobile phones.

The Siberian Federal Scientific Center for Agricultural Technology and Biotechnology of RAS has been developed a software system designed for informational and analytical support of various stages of breeding. The components of the software system are software packages that ensure the planning of field experiments, the storage of data obtained as a result of field experiments, the evaluation of breeding material and the statistical analysis of data.

Wintersteiger has developed the Easy Breed software, a data management program intended for breeding and seed production. It allows you to streamline the results of field trials, phenotypic indicators, DNA markers and pedigree varieties for a more efficient use of these materials in breeding programs. The software is actively used throughout the breeding process while providing support for such tasks as variety management, crossbreeding, experiment planning, integration of valuation data, selection and evaluation of results. The Easy Harvest software is used in the company's breeding harvesters in combination with a mobile data processing system for weighing and measuring the moisture content of material harvested. In the harvesting mode, at any time one can see where the machine is located, which plots are already harvested, as well as the results of the work. In accordance with a contract with Delair, Wintersteige has included the long-range Delair UX 11 AG UAV and a subscription to the delair.ai cloud platform in its product range and is ready to provide a comprehensive set of solutions for all stages of field research. The Federal Scientific Agroengineering Center VIM has

investigated the possibility of using unmanned aerial vehicles (UAV) for monitoring breeding sites. It was established that UAV can be used for mapping breeding sites, determining the coordinates of their boundaries and relative positioning on the field, assessing the germination of crops, unplanted spots and the density of biomass by leaf surface index, assessing the supply of plants with nutrients according to NDVI, phytosanitary condition of plants, physical and mechanical and agro-engineering properties of the soil.

Введение

Одним из важных направлений и основным условием повышения эффективности во всех отраслях сельского хозяйства, в том числе в селекции и семеноводстве, становится расширение масштабов применения цифровых технологий. В 2018 г. Центром прогнозирования и мониторинга ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» проведено анкетирование по направлению «Цифровое сельское хозяйство». На основании анкетирования, высокую важность «цифровизации технологий селекции и семенного фонда» назвали 71% экспертов, среднюю – 25 и низкую – 4%. Большинство экспертов (53%) предполагаемым сроком появления (внедрения) цифровых технологий в селекции и семеноводстве назвали 2021–2025 гг., остальные: 32% – 2016–2030 гг., 12% – после 2030 г. и 3% – 2019–2020 гг. [1]. Поэтому целью исследования является анализ направлений и оценка масштабов применения цифровых технологий в селекции и семеноводстве на данном этапе.

Результаты исследований и обсуждение

В настоящее время Минсельхоз России разрабатывает систему прослеживаемости семян сельскохозяйственных растений ФГИС «Семеноводство» [2]. Она создается в целях реализации полномочий федерального органа исполнительной власти в сфере семеноводства сельскохозяйственных растений, а также автоматизации информирования граждан, в том числе индивидуальных предпринимателей и юридических лиц. ФГИС «Семеноводство» обеспечит получение актуальных сведений в сфере семеноводства в режиме реального времени: об охраняемых селекционных достижениях (сортах, гибридах); о селекционных достижениях, допущенных к

использованию в конкретном регионе возделывания; о наличии и качестве семян сельскохозяйственных растений, произведенных на территории Российской Федерации, предлагаемых к реализации производителем этих семян; о семенах, завезенных на территорию Российской Федерации из-за рубежа. Благодаря реализации принципов Blockchain, маркировке QR-кодами и контролю семеноводческой продукции на разных этапах производства, пользователи смогут получать всю необходимую информацию о качестве семян, в том числе с помощью мобильных телефонов. После сбора и транспортировки к месту хранения будут определяться посевные показатели семян, а при оформлении документов система сгенерирует уникальный код партии и нанесет маркировку на упаковку.

В процессе селекционной работы исследователю приходится обрабатывать огромный объём информации, поскольку в создании сортов участвует большое разнообразие исходных форм. Кроме того, создание новых сортов зерновых культур требует изучения наследования признаков продуктивности растения, определения экологической приспособленности перспективных форм и линий, использования эффективных методов отбора лучших образцов по комплексу признаков. В СФНЦА РАН разработан комплекс компьютерных программ, предназначенный для информационно-аналитического сопровождения различных этапов селекции [3]. Компонентами комплекса являются пакеты статистических, биометрико-генетических и селекционно-ориентированных программ, которые обеспечивают планирование полевых экспериментов, хранение полученных в результате полевых опытов данных, оценку селекционного материала и проведение статистического анализа данных. Программа «Диаллельный анализ в селекции сельскохозяйственных культур «DIAS» предназначена для расчёта генетических параметров, комбинационной способности сортов зерновых культур и анализа исходного материала по количественным признакам. Важной функцией программы является проведение сравнительного анализа родительских форм и гибридов в реципрокных скрещиваниях, позволяющего оценить вклад исследуемого количественного

признака отцовского или материнского родителя в потомство. Программа «Анализ экологической пластичности сельскохозяйственных культур» позволяет проводить оценку экологической пластичности образцов на разных этапах селекционного процесса при испытании их минимум на двух агрофонах методом случайных повторений и использует для этого показатели интенсивности и устойчивости индекса стабильности. Программа «Полевые опыты. Регистрация и оценка селекционного материала сельскохозяйственных культур» предназначена для хранения данных, полученных в результате полевых опытов, и оценки селекционной ценности культур по комплексу хозяйственно-важных признаков на основе метода скалярного ранжирования для решения многокритериальных задач принятия решений.

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ исследована возможность использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга селекционных участков [4]. Установлено, что БПЛА могут быть использованы для картирования селекционных участков, определения координат их границ и взаимного размещения на поле, оценки всхожести посевов, незасеянных пятен и плотности биомассы по индексу листовой поверхности, оценки обеспеченности растений элементами питания вообще и азотом, в частности, по NDVI, оценки фитосанитарного состояния растений. БПЛА также можно использовать для качественной и количественной оценки физико-механических и агротехнических свойств почвы селекционных участков как одного из важных факторов управления продукционным процессом.

Автоматизированное рабочее место селекционера (АРМС) ФГУП «Омский экспериментальный завод» предназначено для рационально организованного и производительного первичного разбора селекционного материала или структурного анализа растений [5]. В комплектацию входит: мобильный стеллаж для снопа селекционного материала; стол для размещения приборов, флэш-накопитель со специальной программой, позволяющей оперативно обработать данные исследований, получить результаты по каждому растению и сохранить их в памяти компьютера для дальнейшей обработки.

Благодаря применению АРМС производительность труда селекционеров и точность результатов исследований повышается в 3–5 раз.

Компанией «Wintersteiger» разработана программа управления данными в селекции и семеноводстве Easy Breed [6]. Она позволяет упорядочить результаты опытно-полевых испытаний, фенотипические показатели, ДНК-маркеры и родословные сортов для более эффективного использования этих материалов в программах селекции. Приложение подходит для всех культур и значительно упрощает планирование и осуществление скрещиваний. С ее помощью можно составить планы рандомизированных и нерандомизированных исследований, а также правильно оформить полевые журналы и списки выполняемых работ. Программа активно используется на протяжении всего процесса селекции, обеспечивая поддержку таких задач, как управление сортами, скрещивание, планирование опытов, интеграция данных бонитирования, отбор и оценка результатов. Наличие быстрого доступа к нужным данным и фактам обеспечивает быстрое выполнение процедур и более взвешенные и результативные решения по созданию и усовершенствованию сортов.

Сбор данных, их использование и защита играют центральную роль в селекционно-семеноводческих процессах. На селекционных комбайнах компании «Wintersteiger» программное обеспечение Easy Harvest используется в комбинации с мобильной системой для обработки данных при взвешивании и измерении влажности убираемого материала [7]. Перед началом работы создается или импортируется новый опытный участок. Кроме того, можно выполнить синхронизацию данных. Поля можно размещать в любом порядке, а также перемещать. В режиме сбора урожая в любой момент видно, где находится машина, какие делянки уже убраны, а также соответствующие результаты. Возможно использование этикеток для проб. Полученные данные можно синхронизировать или экспортировать в виде файла в формате CSV для дальнейшего использования. Особенности и достоинства программного обеспечения: наглядные и удобные меню, простое составление плана поля и расположения опытных участков, осуществление сбора урожая с нескольких

опытных участков на одном поле за один проход, возможность добавления дополнительной информации в виде комментария к делянкам, предварительно откалиброванные кривые влажности, простой импорт и экспорт данных, встроенное управление отбора проб, встроенный редактор и принтер этикеток, резервирование данных в дополнительной резервной копии (например, на USB-накопителе), система диагностики ошибок, возможность использования несколькими сотрудниками с разными полномочиями.

Компания «Wintersteiger», заключив договор с компанией «Delair», поставщиком комплексных систем управления визуальными данными, пополнила свой ассортимент устройствами для проведения полевых испытаний и интеллектуальной системой обработки визуальных данных, которые отвечают современным требованиям отрасли селекции и семеноводства. Анализ растений с помощью квадрокоптера во время цикла роста позволяет получить показатели по таким параметрам, как жизнеспособность, степень покрытия почвы, высота роста, число растений и даже стадия цветения. Это позволяет намного быстрее добиваться намеченных результатов и сокращает расходы на селекционные программы в пересчете на делянку. Обработка больших массивов данных по фенотипам, полученных путем съемки делянок, улучшает понимание закономерностей развития посевного материала в поле. В соответствии с договором компания «Wintersteiger» включила в ассортимент продукции дрон Delair UX 11 AG (рис.) с большой дальностью полета и подписку на облачную платформу delair.ai и теперь готова предоставлять исчерпывающий набор решений для всех этапов полевых исследований [8].



Рис. Дрон Delair UX 11 AG

Все необходимые средства для работы с посевами сельскохозяйственных культур, управления испытательными участками и обработки данных потребители смогут теперь заказать у одного поставщика. Это поможет исследователям наиболее полно раскрыть генетический потенциал растений.

Выводы. Важным фактором повышения эффективности селекции и семеноводства становится расширение масштабов применения цифровых технологий. Система прослеживаемости семян сельскохозяйственных растений ФГИС «Семеноводство», разрабатываемая Минсельхозом России, обеспечит получение потребителями различного уровня актуальных сведений в сфере семеноводства в режиме реального времени. Комплекс компьютерных программ, разработанный в СФНЦА РАН, позволяет осуществлять информационно-аналитическое сопровождение различных этапов селекции. Программа управления данными Easy Breed компании «Wintersteiger», используемая на протяжении всего процесса селекции, обеспечивает поддержку задач управления сортами. Для мониторинга селекционных участков могут быть использованы беспилотные летательные аппараты.

Использованные источники

1. Труфляк Е. В. Результаты анкетирования по направлению «Цифровое сельское хозяйство»/Е. В. Труфляк, А. С. Креймер, Н. Ю. Курченко. – Краснодар: КубГАУ, 2018. – 11 с.
2. Минсельхоз России разработал прототип системы прослеживаемости семян. <http://mcx.ru/press-service/news/minselkhoz-rossii-razrabotal-prototip-sistemy-proslezhivaemosti-semyan/> (дата обращения: 14.04.2020).
3. Гребенникова И. Г., Чешкова А. Ф., Алейников А. Ф., Стёпочкин П. И. Информационные технологии в селекции зерновых культур. Труды XVI Всероссийской конференции DICR-2017, Новосибирск, 2017 – С. 473-479.
4. Личман Г. И., Лобачевский Я. П., Елизаров В. П., Курбанов Р.К. Использование БПЛА для мониторинга состояния селекционных участков. Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: (матер. IX Междунар. Науч.-практ. конф.). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – С. 311–315.
5. Автоматизированное рабочее место селекционера https://xn--55-slcl1a9e.xn--plai/view_products.php?id=24#teh_har (дата обращения: 14.04.2020).
6. Система управления данными Easy Breed – залог успешного выполнения селекционных программ. <https://www.wintersteiger.com/ru> (дата обращения: 14.04.2020).
7. Оперативный сбор данных. <https://www.wintersteiger.com/ru> (дата обращения: 14.04.2020).
8. Квадрокоптер Delair UX 11 AG для точной и эффективной бонитировки. <https://www.wintersteiger.com/ru/> (дата обращения: 14.04.2020).

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А. Е. Касьянов, Д. Д. Кобозев

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования*

*«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А.
Тимирязева» Москва, Россия,*

E-mail: kasian64@mail.ru, Kobozev.daniil@yandex.ru.

Реализация принципов точного земледелия на больших производственных площадях сельскохозяйственных земель сопряжена с определенными трудностями. В процессе производства сельскохозяйственной продукции существенную роль начинают играть производственно-хозяйственные факторы: затраты труда, количество и качество основной сельскохозяйственной техники, наличие и качество водных ресурсов и средств защиты и питания растений. На больших площадях существенно проявляется пространственная изменчивость почвенных параметров. В большей степени это характерно для мелиорируемых земель, где на пространственную изменчивость почвенных параметров накладываются агромелиоративные обработки полей. Для мониторинга водного режима почв предложено создать базовые точки измерения почвенных параметров и количественно связать их с агротехнологиями, которые применяют на остальной площади мелиорируемого массива. Предложена конструкция градиентного влагомера, который фиксирует влажность по слом почвенного профиля.

Ключевые слова: Градиентный влагомер, датчик влажности, влажность почвы, зона аэрации, поток влаги, аккумулятор, цифровой вольтметр, градиент влажности, профиль почвы, методы измерения.

TECHNICAL MEANS OF MONITORING WATER SOIL REGIME IN PRODUCTION CONDITIONS

A. E. Kasyanov, D. D. Kobozev

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Russian State Agrarian University –

Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev» Moscow, Russia,

E-mail: kasian64@mail.ru, Kobozev.daniil@yandex.ru.

The implementation of the principles of precision farming on large production areas of agricultural land is fraught with certain difficulties. In the process of agricultural production, industrial and economic factors begin to play a significant role: labor costs, quantity and quality of basic agricultural machinery, availability and quality of water resources and plant protection and nutritional products. On large areas, spatial variability of soil parameters is significantly manifested. To a greater extent this is characteristic of reclaimed lands, where agro-reclamation cultivation of fields is superimposed on the spatial variability of soil parameters. To monitor the water regime of soils, it was proposed to create base points for measuring soil parameters and quantitatively relate them to agricultural technologies that are used in the rest of the area of the reclaimed massif. A gradient hydrometer design is proposed, which records moisture by scraping the soil profile.

Keywords: Gradient moisture meter, humidity sensor, soil moisture, aeration zone, moisture flow, battery, digital voltmeter, humidity gradient, soil profile, measurement methods.

Введение. Внедрение технологий точного земледелия на больших производственных площадях сельскохозяйственных земель сопряжена с определенными трудностями. На процесс производства сельскохозяйственной продукции существенное влияние начинают оказывать производственно-хозяйственные факторы: затраты труда, количество и качество основной сельскохозяйственной техники, наличие и качество водных ресурсов и средств защиты и питания растений. На больших площадях существенно проявляется пространственная изменчивость почвенных параметров. В большей степени это характерно для мелиорируемых земель, где на пространственную изменчивость почвенных параметров накладываются агрометрические обработки полей. Эти факторы отсутствуют на опытных участках. Для повышения эффективности внедрения технологий точного земледелия предложено создать базовые точки измерения параметров почвенных режимов и количественно связать их с агротехнологиями, которые применяют на остальной площади мелиорируемого массива.

Градиентные измерения влажности по отдельным слоям почвенного профиля являются базовой методикой исследования параметров мелиоративного режима почв. Особую актуальность они приобрели в связи с необходимостью оценки достоверности расчетов параметров потоков влаги в зоне аэрации с использованием математических моделей. Современные математические модели базируются на численном решении дифференциального уравнения Л. А. Ричардса и его модификациях [1]: $dw/dt = d [k(w)(d\psi/dz + 1)]/dz$, где w – объемная влажность почвы; t – время; z – координата вертикальной оси; $k(w)$ – коэффициент влагопроводности; ψ – высота всасывающего давления. Для численного решения уравнения Ричардса почвенный профиль разбивают по вертикали на элементарные слои Δz и рассчитывают последовательно балансы каждого слоя в отдельные интервалы времени Δt . Расчет дает значения влажности w_{ij} по i слоям почвенного профиля в j интервалы времени t_j . Экспериментальная проверка результатов расчета заключается в сравнении

измеренных в опыте значений влажности $W_{ijопыт}$ и значений влажности, рассчитанных по модели $W_{ijрасч}$.

Для измерений влажности по слоям почвенного профиля применяют несколько типов приборов. Используют датчики волновые электромагнитного излучения (EMI methods), емкостные, индукционные, резисторные, тензиометрические и др. [2, 3, 4]. Все датчики размещают вертикально поперек почвенных горизонтов. Датчик почвенного влагомера TRIME[®] – FM3 with T3 фирмы IMKO Micromodultechnik GmbH перемещают в вертикальной скважине. Датчики EnviroSCAN probe design фирмы Sentek размещают на боковой поверхности полимерной трубы, которую вертикально устанавливают в почвенном профиле. Недостаток скважинных влагомеров заключается в контактном движении влаги вдоль боковой поверхности корпуса прибора или обсадной трубы. В большей степени это проявляется на орошаемых землях при поливах и выпадении интенсивных осадков. Снижается точность измерений влажности по слоям почвенного профиля. Нарушение структуры почвенных горизонтов на участках вблизи стенок скважины, также снижает точность результатов измерений влажности почвы. В предлагаемой конструкции почвенного влагомера эти недостатки устранены.

Материалы и результаты исследований. Конструкция влагомера показана на рисунке.

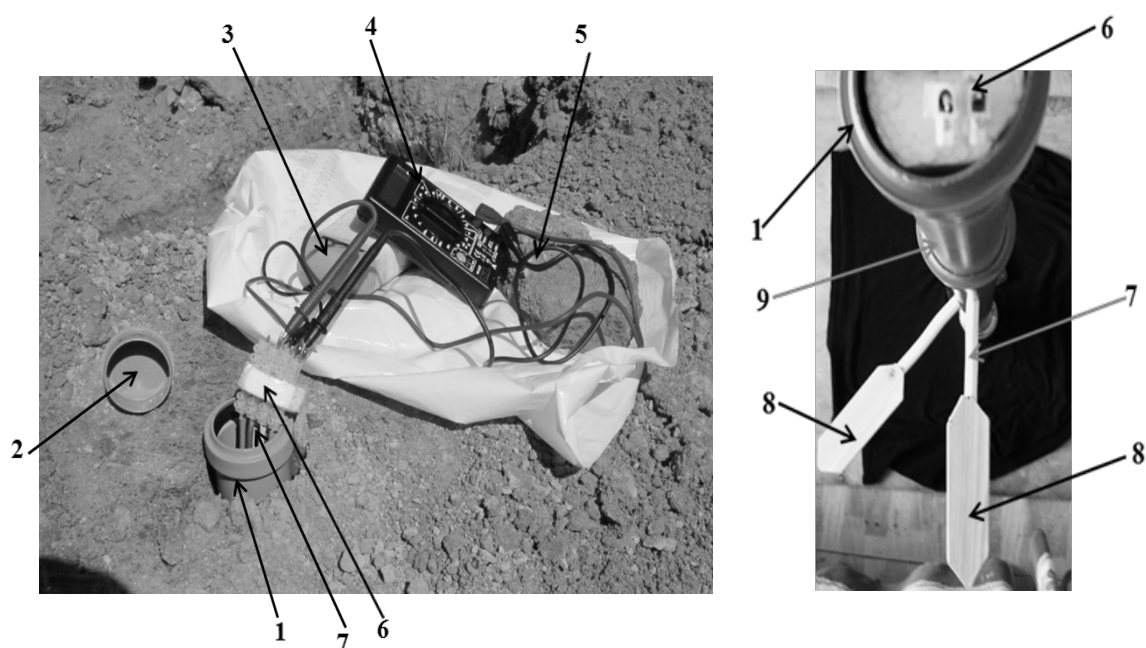
Влагомер включает трубчатый корпус 9, снабженный горловиной 1 и уплотнительным кольцом, контактный блок 6, с подводными проводами 7 от датчиков влажности 8. Влагомер комплектуется аккумулятором 3, цифровым вольтметром 4 и подводными проводами 7 к цифровому вольтметру 4. Заглушка 2 закрывает контактный блок 6 после проведения измерений.

Влагомер используют следующим образом. Устраивают почвенный разрез глубиной не менее длины трубчатого корпуса 9. В угловой части почвенного разреза устанавливают трубчатый корпус 9. В прилегающих к влагомеру стенках почвенного разреза устраивают щели, в которых размещают датчики влажности 8. Проводят контрольные промеры электрических сетей, затем послойно

засыпают почвенный разрез. Для тарировки датчиков влагомера устраивают заливную площадку. Цифровым вольтметром фиксируют напряжение тока на аналоговых контактах датчиков 8 на контактном блоке 6. Параллельно термостатно-весовым методом измеряют влажность почвы по горизонтам установки датчиков влажности 8. Для оценки стабильности функционирования влагомера тарировку повторяют несколько раз с интервалом 2...3 недели. Тарировочный график влагомера в координатах: «напряжение тока на аналоговых контактах датчика влажности - влажность почвы» строят по осредненным значениям всех измерений. В качестве корпуса влагомера используют раструбные полипропиленовые трубы диаметром 50...75 мм. Корпус влагомера можно собирать из отдельных отрезков раструбных труб диаметром 50...75 и длиной 250...300 мм. Раструбы снабжаются уплотнительными кольцами. Датчики влажности и отводящие провода, места прохода проводов через стенки труб герметизируют. От влаги защищают внутреннее пространство труб. Основу контактного блока изготавливают из уплотненного полипропилена, поливинилхлорида и других диэлектрических полимеров, текстолита, гетинакса. Контакты снабжены клеммами с болтовыми прижимами. В качестве датчиков влажности можно использовать емкостное, индукционное, резисторное оборудование. В действующем макете влагомера в качестве датчиков влажности использованы емкостные датчики TREMA-module IARDUINO. В качестве аккумулятора можно применять аккумуляторы для подзарядки различных гаджетов с выходным напряжением тока 3...5 в и током до 500 мА.

Испытания действующего макета влагомера проведены в полевых условиях. На выровненном кавальере в шурфе установили влагомер. Почву вокруг горловины. На глубинах 25 и 50 см разместили два датчика влажности. Вокруг влагомера устроили заливную площадку 3×3 м. Тарировку влагомера проводили в течение 3-х недель. С перерывом в 7 суток трижды насыщали 40 см слоя почвы до полной влагоемкости. Через каждые 3 суток фиксировали напряжение тока на аналоговых контактах датчиков влажности и параллельно

измеряли термостатно-весовым методом влажность почвы на глубинах 25 и 50 см. Напряжение тока аккумулятора составляло 5 В. За весь период наблюдений влажность почвы изменялась в пределах 0.7... 0.9 от полной влагоемкости, напряжение тока 1.1...1.6 В. График тарировки строили по средним значениям всех результатов наблюдений Относительная погрешность измерений составила 2...3%. В течение трех недель погрешность измерений влажности не изменялась.



Конструкция градиентного влагомера влажности почвы:

- 1 – горловина корпуса влагомера с уплотнительным кольцом; 2 – заглушка горловины;
- 3 – аккумулятор; 4 – цифровой вольтметр; 5 – подводящие провода к цифровому вольтметру; 6 – контактный блок влагомера; 7 – подводящие провода от датчиков влажности почвы; 8 – датчик влажности; 9 – трубчатый корпус влагомера

Протечек вдоль корпуса влагомера не отмечалось. Влагомер устанавливают в почве на весь период вегетации. Влагомеры могут найти применение в реализации программы цифровой мелиорации и землеустройства [5].

В серийной модели градиентного влагомера цифровой вольтметр заменяют приемо-передающим чипом, снабженным антенной. На участках пропашных культур влагомер устанавливают на один сезон. Влагомер размещают в рядках после посева или посадки рассады сельскохозяйственных

культур. На участках сплошного сева влагомер используют в течение нескольких сезонов. Устраивают почвенный разрез. В угловой части почвенного разреза устанавливают нижнюю часть влагомера. В боковой стенке нарезают горизонтальную щель, в которую помещают датчик влажности. В другой угловой стенке шурфа устраивают другую щель, в которую также помещают датчик влажности. На нижнюю часть влагомера устанавливают последующие части корпуса и в стенках размещают датчики влажности. В период проведения весенних и осенних обработок верхнюю часть влагомера длиной 250...300 мм снимают, извлекают аккумулятор, приемо-передающий чип и закрывают заглушкой. После завершения обработок поля верхнюю часть влагомера переводят в рабочее состояние. После появления глобального широкополосного интернета считывание и обработка показаний влагомера будет проходить в автоматическом режиме.

Выводы. Для внедрения технологий точного земледелия в производство предложено создать базовые точки измерения параметров почвенного режима. Разработать количественные зависимости изменения параметров почвенного режима от применяемых агротехнологий. По результатам измерений параметров почвенных режимов в базовых точках и примененных агротехнологий рассчитывать эти характеристики на остальной части мелиорируемого массива.

Предложена конструкция градиентного влагомера влажности почвы, включающая датчики влажности, размещаемые вдоль горизонтов почвенного профиля.

Создан действующий макет влагомера, проведены его испытания в полевых условиях. Подтверждена работоспособность предложенной конструкции влагомера. Установлена стабильность работы влагомера в течение 3-х недель с относительной погрешностью измерений 2...3%.

На основе действующего макета влагомера будет изготовлена серия градиентных влагомеров для проведения мониторинга потока влаги в зоне аэрации почвенного профиля мелиорируемых земель на экспериментальном

участке «Озерный» в Раменском регионе Московской области и на мелиорируемых сельскохозяйственных землях провинции Рака САР.

Библиографический список

1. Richards L. A. Capillary conduction of liquids through porous mediums // *Physics journal*. 1931. Vol. 1. No. 5. P. 318–333. doi:10.1063/1.1745010.
2. TRIME®- FM3 with T3: сайт – URL: <https://www.imko.de/de/> (дата обращения: 12.06.2020). – Текст электронный.
3. EnviroSCAN probe design: сайт – URL: <https://www//sentektechnologies.com/> (дата обращения: 14.05.2020). – Текст электронный.
4. Касьянов А. Е. Экологический контроль оросительных мелиораций: монография. – М.: Издательство «Спутник +». – 2017. – 327 с.
5. Kasyanov A. On creating digital land management in the framework of the program on digital economy of the Russian Federation / Papaskiri T., Kasyanov A., Ananicheva E. //In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic resource. 2019. – С. 012092. [Scopus].

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ПОИСКА МЕСТ ПРОИЗРАСТАНИЯ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

А. Н. Кот, Н. А. Прокофьев
ООО «Геоскан», info@geoscan.aero

В работе оценивается возможность использования данных мультиспектральной аэрофотосъемки для определения мест произрастания борщевика Сосновского до наступления массового цветения. В качестве исходных данных использованы материалы аэрофотосъемки, выполненной в 2020 году в двух районах Ленинградской области. Использованы БПЛА Геоскан 201 и 401, мультиспектральная камера Micasense RedEdge-MX. Работа выполнена с использованием данных аэрофотосъемки, предоставленных Агрофизическим НИИ.

This paper assesses the possibility of recognition of the growth sites of *Heracleum Sosnowski* (hogweed) before mass flowering using multispectral aerial photography data. Aerial multispectral data collected in 2020 in two districts of the Leningrad Region were used as a source dataset. Geoscan 201, Geoscan 401 UAVs and Micasense RedEdge-MX multispectral camera were used. The work uses aerial data provided by the Agrophysical Research Institute.

Введение

Борщевик Сосновского – сорное растение, инвазивный вид, представляющее опасность для человека, в том числе из-за содержания в соке фотосенсибилизирующих веществ. В ряде регионов Российской Федерации проводятся мероприятия по борьбе с распространением борщевика Сосновского, включающие в себя картирование территорий, заросших борщевиком, обработку территорий, химическим способом и др. Известны способы определения мест произрастания инвазивных видов дистанционными методами, в основном по космическим снимкам. Алгоритмы поиска используют спектральные, текстурные и фенологические особенности различных растений. Существенным недостатком фенологических методов является необходимость протяженных во времени наблюдений. В обзоре [2] отмечается, что поиск по спектральным признакам возможен для больших площадей из-за низкого пространственного разрешения спутниковых данных. Поиск по текстурным признакам в некоторых случаях использует особенности цветущих растений борщевика (крупные соцветия). Развитие беспилотных летательных аппаратов и аппаратуры для мультиспектральной съемки в последние годы позволяет получать данные

аэрофотосъемки на сравнительно большие площади и в то же время с высоким пространственным и спектральным разрешением. В данной работе мы поставили цель оценить возможность картирования мест произрастания борщевика Сосновского с применением спектральных признаков, преимущественно до наступления цветения. Такой подход позволил бы производить поиск по результатам однократной съемки и мог бы использоваться для раннего обнаружения борщевика, а также для контроля эффективности мероприятий по борьбе с ним.

Методы и материалы

В качестве исходных данных использованы материалы аэрофотосъемки, выполненные двумя рабочими группами в 2020 году:

1. Группа Агрофизического НИИ использовала БПЛА Геоскан 401 с размещенной на нем мультиспектральной камерой RedEdge-MX или цифровой камерой Sony DSC-RX1.

2. Группа ООО «Геоскан» использовала БПЛА Геоскан 201 с камерами RedEdge-MX и Sony DSC-RX1.

Данные о датах, высоте и других параметрах аэрофотосъемки приведены в табл. 1. Для обеспечения калибровки отражательной способности при выполнении мультиспектральной съёмки проводилась съемка калибровочных панелей с известными характеристиками отражения. Кроме того, проводилась регистрация данных о спектре Солнца и направлении на Солнце с помощью датчика падающего излучения DLS2, входящего в комплект камеры RedEdge-MX.

Пространственное разрешение снимков, получаемых на камеру Sony DSC-RX1, значительно превосходит разрешение снимков с мультиспектральной камеры (ср. данные табл. 1). При размере проекции пикселя в 2 см, детализация снимков позволяет визуальнo дешифровать молодые растения борщевика по характерной форме листьев.

Таблица 1. **Параметры аэрофотосъемочных маршрутов**

	Дата	Место	Высота, м	Разрешение	ПН
1	09.06.2020	Гатчинский р-н	114	2	Sony DSC-RX1
			100	7	RedEdge-MX
2	29.06.2020	Кировский р-н	280	3,5	Sony DSC-RX1
				18,5	RedEdge-MX

Обработка данных включала в себя: фотограмметрическую обработку, учет виньетирования, калибровку отражательной способности с построением ортофотопланов (видимого диапазона и мультиспектральных). Фотограмметрическая обработка производилась при помощи ПО Agisoft Metashape Professional версии 1.6.2.

Для первоначального поиска мест распространения борщевика использовались наземные наблюдения и данные аэрофотосъемки в видимом диапазоне с последующим визуальным дешифрированием. Затем на мультиспектральном ортофотоплане были выделены участки, соответствующие как борщевика, так и другим классам объектов местности, среди которых: дорога, открытая почва, залесенная местность, сельскохозяйственные посевы (озимая пшеница). Дополнительно были выделены затененные объекты.. По данным участкам были составлены графики спектральных кривых, необходимые для предварительной оценки различимости классов в пространстве спектральных признаков (рис. 1). В дальнейшем данные участки использовались для обучения классификатора.

Анализ графиков показал, что спектральные кривые для борщевика и залесенной территории практически идентичны с некоторым увеличением коэффициента отражательной способности в зеленом (560 нм) и ближнем инфракрасном диапазоне (842 нм) у борщевика. Выявленные закономерности соответствуют результатам подобных исследований [1].

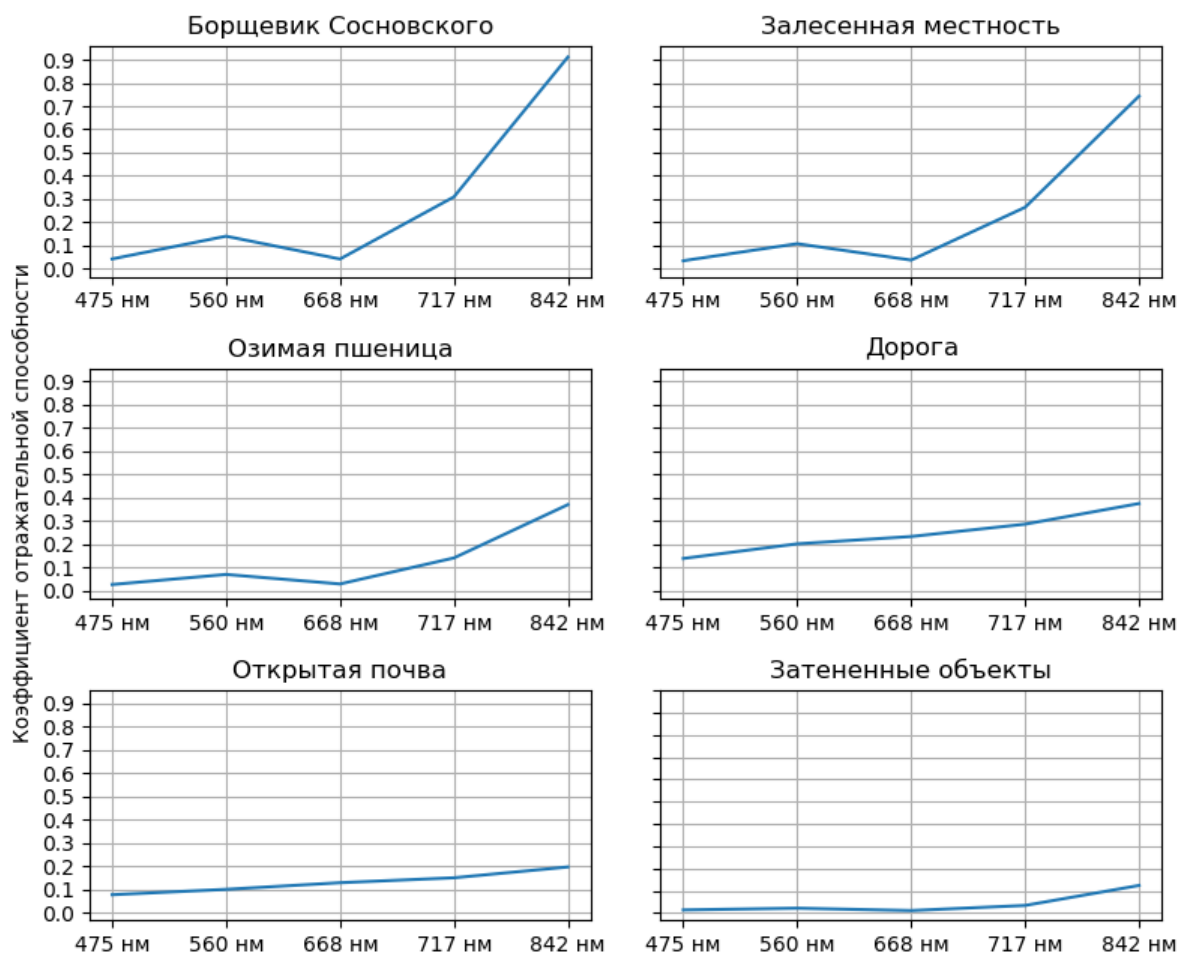


Рис. 1. Графики спектральных кривых отдельных участков местности

Для классификации ортофотоплана, построенного по данным мультиспектральной съемки, был выбран объектно-ориентированный подход. Данный подход в определенной степени имитирует визуальное дешифрирование – пикселы классифицируются в зависимости от того, к какой группе (географическому объекту) они принадлежат [9]. Группировка пикселов происходит в ходе одного из ключевых этапов объектно-ориентированной классификации – сегментации изображения.

Объектно-ориентированная классификация с обучением включает следующие этапы обработки:

- сегментация изображения;
- автоматическая векторизация сегментированного изображения, результатом которой является набор векторных полигонов;

– зональная статистика, расчет усредненных спектральных характеристик для каждого полигона;

– обучение классификатора;

– классификация векторных полигонов.

В ходе первого этапа объектно-ориентированной классификации, сегментации изображения, использовался алгоритм кластеризации данных по методу сдвига среднего значения (*англ.* mean-shift). Основными входными параметрами для данного метода являются пространственный и спектральный радиус. Опытным путем были подобраны следующие оптимальные характеристики для используемых данных: пространственный радиус – 15 пикселей, спектральный – 0.05. Опираясь на опыт отдельных исследований [4], избыток сегментов (наличие нескольких сегментов для одного географического объекта) предпочтительнее для объектно-ориентированной классификации, чем их недостаток.

Для сегментации использовалась реализация алгоритма, входящая в пакет утилит Orfeo Toolbox [11]. Данная утилита автоматически реализует и второй этап классификации – векторизацию сегментированного растра. Фрагмент результата сегментации изображен на рисунке 2.

Кроме этого, в целях сегментации изображения был опробован алгоритм кластеризации по методу K-средних при помощи библиотеки scikit-learn [12]. Данный метод часто используется для неконтролируемой классификации мультиспектральных данных. Результаты его использования близки к тем, которые были получены предыдущим способом, однако для использования данного алгоритма необходимо предварительное указание количества кластеров и дополнительная фильтрация изображения.

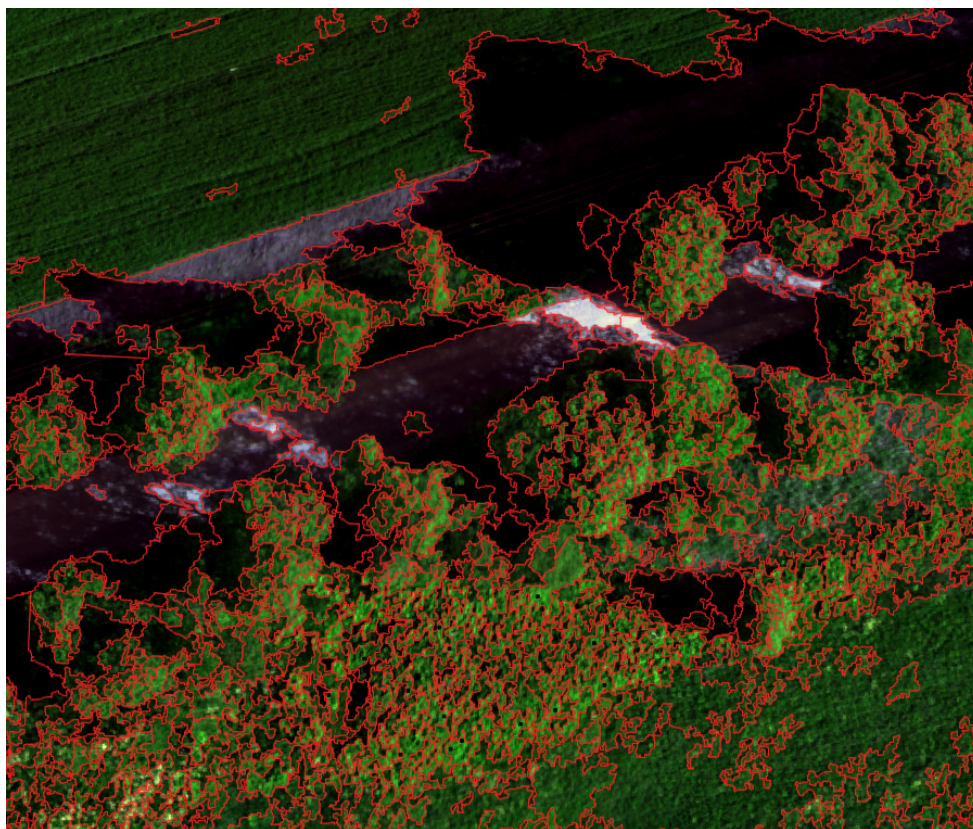


Рис. 2. Фрагмент результата сегментации ортофотоплана

Для классификации полученных сегментов необходимо определить признаки и вычислить их числовую характеристику для каждого сегмента. Учитывая феномен Хьюза и опыт отдельных исследований [8], использование более 6 спектральных каналов ухудшает результаты классификации, а наиболее точные результаты получаются при использовании 3-х. Таким образом, для классификации сегментов были выбраны зеленый (560 нм), дальний красный (717 нм) и ближний инфракрасный (842 нм) спектральные диапазоны. Согласно графикам спектральных кривых, коэффициент отражательной способности борщевика Сосновского в данных спектральных диапазонах наиболее различим относительно других видов растительности. При помощи встроенного инструмента QGIS «Зональная статистика» удалось вычислить средние значения пикселей по каждому каналу для каждого полигонального сегмента.

Для классификации с обучением был выбран метод опорных векторов (*англ.* support vector machine, SVM). Данный метод активно используется в задачах классификации мульти- и гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли [6, 7] и показал себя эффективным при наличии

ограниченного набора обучающей выборки [3]. Задача метода – построить гиперплоскость, оптимально разделяющую объекты выборки в n-мерном пространстве признаков. В данном исследовании использовалась реализация метода, входящая в набор утилит Orfeo Toolbox.

По результатам обучения классификатора и кросс-валидации (дополнительно была сделана валидационная выборка, по 10 эталонов на каждый класс) относительная точность классификатора по индексу Каппа составила 93,9 %. Понижение точности было замечено в классах с борщевиком Сосновского и залесенной территорией.

Классификация ортофотоплана при помощи обученной модели выявила следующие проблемы. Ареалы, занятые борщевиком Сосновского, были выделены корректно, однако в этот же класс попала и другая растительность с похожей спектральной характеристикой. Как правило, это некоторые деревья и кустарники, а также сорная растительность. Фрагмент результата классификации изображен на рисунке 3.

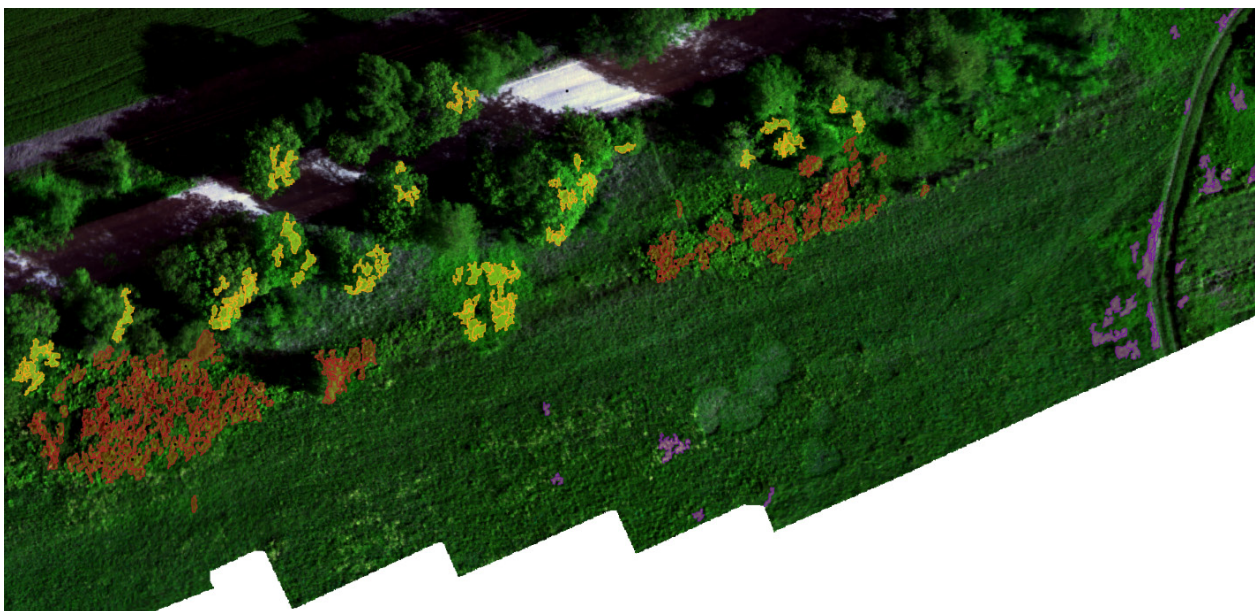


Рис. 3. Фрагмент результата классификации. Сегменты красного цвета – корректно определенный борщевик Сосновского, желтого и сиреневого – ложное определение.

Обсуждение

Результат исследования показал, что по мультиспектральным изображениям, сделанным в июне в пределах территории Ленинградской

области, однозначно определить ареалы распространения борщевика по спектральным признакам проблематично. В первую очередь, это связано с вегетационным периодом остальных видов растительности в границах съемки. Известно, что борщевик Сосновского обладает повышенной отражательной способностью в зеленом и ближнем инфракрасном спектральных диапазонах относительно другой растительности. Данный факт подтверждается и по графикам спектральных кривых (рис. 1). На территории Ленинградской области фотосинтетическая способность некоторых растений (сорная растительность, отдельные виды деревьев и кустарников) к июню значительно повышается, следовательно повышается и отражательная способность в упомянутых ранее диапазонах спектра. Учитывая высокое пространственное разрешение изображений, по которым проводилась классификация, данные виды попали в классификацию и ошибочно были опознаны как борщевик, так как обладали схожими спектральными характеристиками.

Заключение и выводы

В рамках проведенного исследования была оценена возможность выявления ареалов распространения борщевика Сосновского по мультиспектральным аэрофотосъемочным материалам высокого пространственного разрешения, сделанным на территории Ленинградской области в июне 2020 года. В качестве инструмента оценки использовалась объектно-ориентированная классификация изображения по спектральным признакам. Результаты исследования показывают, что, используя предложенную методику, ареалы распространения борщевика успешно выявляются, однако вместе с ними выявляется и растительность с высокой фотосинтетической активностью.

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

– Сформулирована гипотеза, согласно которой выявление борщевика Сосновского по мультиспектральным аэрофотосъемочным материалам предпочтительнее проводить по данным, сделанным в ранний вегетационный

период (весной), когда остальная растительность обладает слабой фотосинтетической активностью;

– Предложенный метод обнаружения борщевика может быть использован как предварительный для сужения области поиска. Учитывая высокое пространственное разрешение используемых данных, выявленные ареалы могут быть уточнены или отфильтрованы в процессе визуального дешифрирования;

– Использование исключительно спектральных признаков может быть недостаточным для выявления ареалов распространения борщевика по данным с высоким пространственным разрешением. Совместное использование признаков разного рода (например, спектральных и текстурных) может значительно улучшить результаты обнаружения рассматриваемого инвазивного вида.

Список литературы

1. Рыжиков, Д.М. Метод обработки мультиспектральных спутниковых данных для решения задачи контроля зон произрастания борщевика Сосновского // Информационно-управляющие системы. – СПб., 2017. – № 6. – С. 43–51.
 2. Bradley B. A. Remote detection of invasive plants: a review of spectral, textural and phenological approaches // Biological invasions. – 2014. – Т. 16. – №. 7. – С. 1411–1425.
 3. Camps-Valls G., Bruzzone L. Kernel-based methods for hyperspectral image classification. // IEEE Trans. Geo. Remote Sens. – 2015. – 43(6) – С. 1351–1362.
 4. De Luca G. N., Silva J. M., Cerasoli S. Object-Based Land Cover Classification of Cork Oak Woodlands using UAV Imagery and Orfeo ToolBox // Remote Sensing. – 2019. –11(1238). – 22 с.
 5. Guo, Y., Yin, X., Zhao, X., Yang, D., & Bai, Y. Hyperspectral image classification with SVM and guided filter. // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2019. – № 56. – 9 с.
 6. Liu D., Chen J., Wu G. and Duan H. SVM-Based Remote Sensing Image Classification and Monitoring of Lijiang Chenghai. // 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, – 2012. – 4 с.
 7. Mitra P., Shankar B. U., Pal S. K. Segmentation of multispectral remote sensing images using active support vector machines, Pattern Recognition Letter. – 2004. – Т. 25. – №. 9. – С. 1067–1074.
 8. Ma W., Gong C., Hu Y., Meng P., Xu F. The Hughes phenomenon in hyperspectral classification based on the ground spectrum of grasslands in the region around Qinghai Lake. // International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging: Imaging Spectrometer Technologies and Applications, – 2013. – 11 с.
 9. Remote Sensing Handbook Volume I: Remotely Sensed Data Characterization, Classification, and Accuracies. CRC Press, – 2016. – 678 с.
- Интернет-ресурсы:*
10. Документация GDAL. // URL: <https://gdal.org/>
 11. Документация Orfeo Toolbox. // URL: <https://www.orfeo-toolbox.org/>
 12. Документация scikit-learn. // URL: <https://scikit-learn.org/stable/index.html>

ГИС В ИЗУЧЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИНАМИКИ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ

Н. Н. Лунева^{*1}, Ю. А. Федорова²

¹*Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия;*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия*

Видовой состав сорных растений агрофитоценозов посевов ячменя в географически удаленных друг от друга регионах отличается не только по составу доминирующих дифференциальных видов, но и по частоте встречаемости одинаковых в двух регионах видов. Частота встречаемости одинаковых видов выше в том регионе, показатели тепло- и влагообеспеченности которого сопоставимы с показателями требовательности видов к факторам тепла и влаги.

GIS IN THE STUDY OF SPATIAL DYNAMICS OF WEEDS

N. N. Luneva^{1*}, Yu. A. Fedorova²

¹*All-Russian Institute of plant protection, Saint Petersburg, Russia;*

²*Saint Petersburg state University, Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg, Russia*

Comparison of indicators of species' requirements to heat and moisture factors with indicators of heat and moisture availability of the territory showed that the species composition of weed flora in two geographically remote regions (Leningrad in the North-Western region and Lipetsk in the Central Chernozem region) is not the same. This is due to differences in the contamination of spring barley crops in these regions. First, the species composition of weeds of agrophytocenoses of barley crops differs in the composition of the dominant species: in the Leningrad region, *Matricaria discoidea* DC., *Galeopsis bifida* Boenner, *Galeopsis speciosa* Mill., *Lamium purpureum* L., and in Lipetsk-*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv., *Amaranthus retroflexus* L., *Silene pratensis* (rafn) godr., *Stachys Annuua* (l) L. Secondly, in both regions, barley crops are littered with 28 identical species, but their frequency is different in the regions. The frequency of occurrence of the same species is higher in the region, the indicators of heat and moisture availability are comparable to the indicators of the species' requirements for heat and moisture factors. The results represent a multi-year regional forecast of the distribution of weed species in barley crops in two regions.

Изучение пространственной динамики и численности видов сорных растений имеет большое значение для разработки фитосанитарного прогноза и создания систем защиты агрофитоценозов от воздействия вредных ботанических объектов. Комплекс видов сорных растений агроэкосистемы формируется из видов, составляющих сорную флору, которая представляет собой экологический элемент региональной флоры, выделенный на основе произрастания определенных видов на вторичных местообитаниях с нарушенным растительным покровом (Лунева, 2020). Поскольку флора – это «... совокупность видов растений, приуроченная к определенному географическому

пространству, связанная с его современными природными условиями...» (Юрцев, Камелин, 1991), постольку ее состав складывается из видов растений, для которых данная территория подходит по показателям основных факторов, лимитирующих распространение растений, главными из которых являются факторы тепла и влаги (Алехин и др., 1961; Толмачев, 1974). Изучение зависимости распространения видов растений от уровня тепло- и влагообеспеченности территории вписывается в рамки методологического подхода, базирующегося на взаимодействии организма с окружающей средой и названного «аутэкологическим редукционизмом» (Гиляров, 2014). Несмотря на противопоставление аутэкологии синэкологическому подходу, изучающему взаимодействие организмов разных видов в экосистеме (Фролов, 2019), в современной экологии равноценно сосуществуют оба подхода (Гиляров, 2014), поскольку, прежде чем изучать распространенность и численность видов сорных растений в агроэкосистемах и агрофитоценозах, необходимо знать состав сорной флоры региона, из видов которой формируются растительные сообщества вторичных местообитаний (Лунева, 2020).

Состав видовых комплексов сорных растений отдельных областей и регионов изучен с использованием эколого-географического анализа, заключающегося в сопоставлении показателей требовательности видов к факторам тепла и влаги с показателями тепло- и влагообеспеченности территорий (Лунева, 2017). Показатели факторов, лимитирующих распространение видов растений в северном (сумма активных температур выше $+5^{\circ}\text{C}$ – САТ) и южном (гидротермический коэффициент - ГТК) направлениях, определены путем наложения электронных карт зон распространения видов сорных растений на растровые карты распределения факторов тепла и влаги по территории СНГ. Карты размещены в интерактивном ресурсе «Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их болезни, вредители и сорные растения» (Афонин и др., 2008). С использованием карты Российской Федерации с границами областей аналогично определены показатели тепло- и влагообеспеченности двух областей

в географически удаленных друг от друга регионах: Ленинградской (Северо-Западный) и Липецкой (Центрально-Черноземный). Названия видов сорных растений приведены в соответствии с современной ботанической номенклатурой (Лунева, Мысник, 2018).

Показано, что видовой состав сорных растений, формирующих сорные флоры географически удаленных друг от друга регионов, не идентичен (Лунева, 2018), что обуславливает отличия в засоренности посевов одной и той же культуры в этих регионах. Так, посевы ячменя ярового в Ленинградской области засоряет 80 видов сорных растений, а в Липецкой – 70 видов, из них только 28 видов присутствуют в агрофитоценозах этой культуры в обеих областях: марь белая *Chenopodium album* L., дымянка лекарственная *Fumaria officinalis* L., трехреберник непахучий *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., бодяк щетинистый *Cirsium setosum* (Willd.) Bess., пастушья сумка обыкновенная *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., гречишка вьюнковая *Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve, звездчатка средняя *Stellaria media* (L.) Vill., ярутка полевая *Thlaspi arvense* L., одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* Wigg., пырей ползучий *Elytrigia repens* (L.) Nevski, горец щавелелистный *Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre, полынь обыкновенная *Artemisia vulgaris* L., тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium* L., незабудка полевая *Myosotis arvensis* (L.) Hill., смолевка обыкновенная *Silene vulgaris* (Moench) Garcke, подорожник большой *Plantago major* L., горец птичий *Polygonum aviculare* L., молочай солнцегляд *Euphorbia helioscopia* L., хвощ полевой *Equisetum arvense* L., аистник цикутовый *Erodium cicutarium* (L.) L'Herit., горошек мышиный *Vicia cracca* L., молочай лозный *Euphorbia virgata* Waldst. et Kit., редька дикая *Raphanus raphanistrum* L., осот полевой *Sonchus arvensis* L., подмаренник цепкий *Galium aparine* L., фиалка полевая *Viola arvensis* Murray, пикульник обыкновенный *Galeopsis tetrahit* L., вьюнок полевой *Convolvulus arvensis* L. Из 52 видов сорных растений, зарегистрированных только в посевах ячменя в Ленинградской области (которые можно назвать дифференциальными) на 40–60% полей зарегистрирована ромашка пахучая *Matricaria discoidea* DC., на 20–40% полей –

пикульники двунадрезанный *Galeopsis bifida* Boenner и красивый *Galeopsis speciosa* Mill., яснотка пурпурная *Lamium purpureum* L. Остальные виды отмечены менее, чем на 20% полей: полевика гигантская *Agrostis gigantea* Roth., скерда кровельная *Crepis tectorum* L., бородавник обыкновенный *Lapsana communis* L., желтушник лакфиолевый *Erysimum cheiranthoides* L., мятлик однолетний *Poa annua* L., лапчатка гусиная *Potentilla anserina* L., лютик ползучий *Ranunculus repens* L., торица полевая *Spergula arvensis* L. и другие. Из 42 видов, зарегистрированных в посевах ячменя на территории только Липецкой области, на 60-80% полей зарегистрирован ежовник обыкновенный *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv., на 40-60% полей – щирица назадзапрокинутая *Amaranthus retroflexus* L., на 20-40% полей – смолевка белая *Silene pratensis* (Rafn) Godr. и чистец однолетний *Stachys annua* (L.) L. Среди видов, отмеченных менее, чем на 20% полей, наиболее часты овес пустой *Avena fatua* L., полынь горькая *Artemisia absinthium* L., липучка растопыренная *Lappula squarrosa* (Retz.) Dumort, льнянка обыкновенная *Linaria vulgaris* Mill.

Различия во встречаемости видов сорных растений, одинаковых в агрофитоценозах посевов ячменя в обеих областях, представлены на рисунке 1.

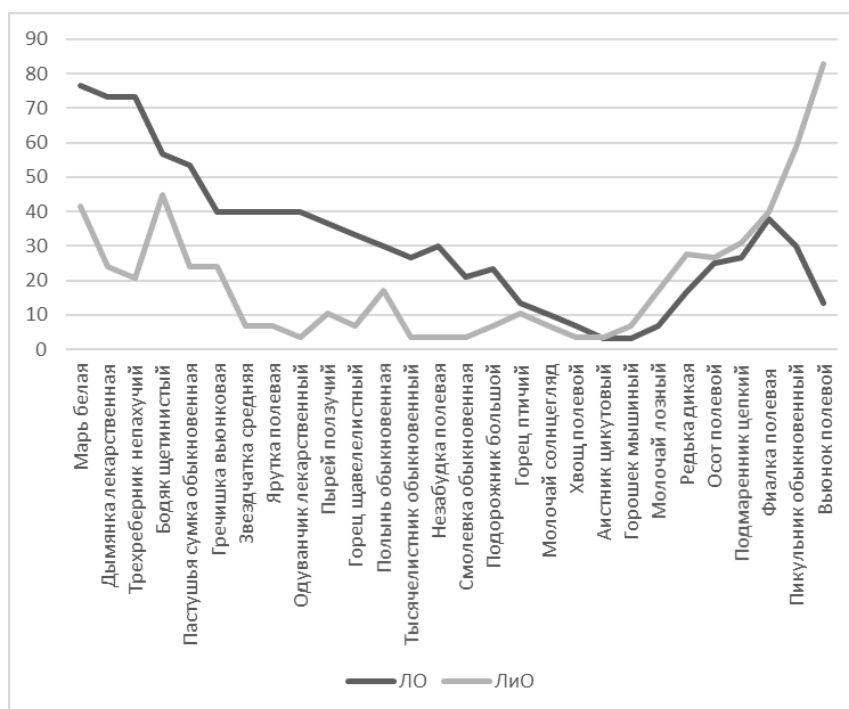


Рисунок 1. Встречаемость (% полей) видов сорных растений в посевах ячменя ярового в Ленинградской (ЛО) и Липецкой (ЛиО) областях

Из группы общих для агрофитоценозов посевов ячменя в двух областях видов только 8 чаще отмечены в Липецкой области, чем в Ленинградской, и 19 видов чаще встречаются в Ленинградской области. Сопоставление показателей требовательности групп видов сорных растений, показавших высокие показатели встречаемости в одной из областей (как среди общих для двух областей видов, так и зарегистрированных только в одной из областей) с показателями тепло- и влагообеспеченности территорий двух областей представлено в таблице 1.

Таблица 1. Показатели тепло- и влагообеспеченности территорий Ленинградской и Липецкой областей, а также требовательности сравниваемых групп видов сорных растений к факторам тепла и влаги

Показатели тепло- и влагообеспеченности территорий областей		Показатели требовательности групп видов к факторам тепла и влаги			
САТ +5°C	ГТК	САТ +5°C	ГТК	САТ +5°C	ГТК
Ленинградская область		Виды, доминирующие в Ленинградской области		Общие виды, более частые в Ленинградской области	
2044–1854	1.78	1735–1361	0.96–0.63	1862–873°C	0.88–0.32
Липецкая область		Виды, доминирующие в Липецкой области		Общие виды, более частые в Липецкой области	
2656–2483	1.16–1.28	2254–1176	0.73–0.35	1970–1162°C	0.81–0.35

Показано, что группы видов, отличающиеся высокой частотой встречаемости в агрофитоценозах посевов ячменя на территории Ленинградской области, характеризуются показателями требовательности к факторам тепла и влаги, которые сопоставимы с показателями тепло- и влагообеспеченности этой области. Аналогичная тенденция характеризует группу одинаковых в двух областях видов, но часто встречающихся в Липецкой области: требовательности этих видов к теплу и влаге отвечает территория Липецкой области. Эти результаты свидетельствуют о том, что видовой состав сорных растений, засоряющих посевы ячменя ярового в географически удаленных друг от друга регионах, может отличаться не только видами, присутствующими в одном регионе и отсутствующими в другом, но и частотой встречаемости одних и тех

же видов, которая будет выше в том регионе, который по показателям тепло- и влагообеспеченности соответствует требовательности видов к теплу и влаге.

Полученные результаты являются основой регионального многолетнего прогноза распространения приведенных выше видов сорных растений в агрофитоценозах посевов ячменя ярового в двух регионах: Северо-Западном и Центральном-Черноземном. В очередной раз показана чрезвычайно важная роль фитосанитарного мониторинга: на всей территории возделывания одной и той же культуры видовой состав сорных растений различен, как в отношении дифференциальных видов, так и видов, одинаковых в двух регионах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-016-00135)

Список литературы

Алехин В.В., Кудряшов Л.В., Говорухин В.С., География растений с основами ботаники. 2-е изд. М.: Учпедгиз, 1961. 532 с.

Афонин А.Н., Грин С.Л., Дзюбенко Н.И., Фролов А.Н. (ред.) Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения [Интернет-версия 2.0]. [2008]. URL: <http://www.agroatlas.ru> (дата обращения: 20.07.2020).

Гиляров А.М. Методологические проблемы современной экологии. Смена ведущих концепций // Русский орнитологический журнал. 2014. № 23(1036). С. 2523–2535.

Лунева Н.Н. Эколого-географический анализ и моделирование для прогнозирования распространения видов сорных растений // Изучение адвентивной и синантропной флоры России и стран ближнего зарубежья: итоги, проблемы, перспективы. Материалы V международной научной конференции. 2017. С. 76–80.

Лунева Н.Н. Виды сорных растений в региональных сегетальных флорах на примере Ленинградской и Липецкой областей // Биологический вид в структурно-функциональной иерархии Биосферы. Материалы XV Международной научно-практической экологической конференции. 2018. С. 100–104.

Лунева Н.Н. Выделение уровней фитосанитарного районирования территории в отношении сорных растений на примере Ленинградской области. Вестник защиты растений. 2020 103(2) С. 119–133. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-2-13406>

Лунева Н.Н., Мыслик Е.Н. Современная ботаническая номенклатура видов сорных растений Российской Федерации. Под ред. И. Я. Гричанова. СПб.: ВИЗР. 2018. 80 с. (Приложения к журналу «Вестник защиты растений», N 26).

Толмачев А. И. Введение в географию растений. Л.: ЛГУ. 1974. 124 с.

Фролов А.Н. Закономерности динамики численности вредителей и фитосанитарный прогноз. Вестник защиты растений. 2019. № 3(101): 4–33 [http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3\(101\)-4-33](http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3(101)-4-33)

Юрцев Б.А., Камелин Р.В. Основные понятия и термины флористики. Пермь: Пермский университет. 1991. 80 с.

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ФИТОСАНИТАРНОГО МОНИТОРИНГА В ЗАЩИТЕ РАСТЕНИЙ

А. К. Лысов, Т. В. Корнилов

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений

E-mail: lysov4949@yandex.ru; tvkornilov@mail.ru

Проведены исследования и анализ полученных измерений спектральной отражательной способности культурных и доминирующих видов сорных растений в полевых условиях и здоровых и пораженных культурных растений в лабораторных условиях. Выявлены различия в спектральных характеристиках, позволяющие идентифицировать культурные и сорные растений в полевых условиях и здоровые и пораженные растений картофеля в лабораторных исследованиях.

Ключевые слова: мониторинг, спектральная яркость, полевые и лабораторные исследования.

REMOTE METHODS OF PHYTOSANITARY MONITORING IN PLANT PROTECTION

A. K. Lysov, T.V. Kornilov

Federal State Budgetary Institution All-Russian Research Institute of Plant Protection

E-mail: lysov4949@yandex.ru; tvkornilov@mail.ru

Studies and analysis of the obtained measurements of the spectral reflectivity of cultivated and dominant weed species in the field and healthy and diseased cultivated plants in the laboratory were carried out. Differences in spectral characteristics were revealed, which made it possible to identify cultivated and weed plants in the field and healthy and diseased potato plants in laboratory studies.

Key words: monitoring, spectral brightness, field and laboratory studies.

Дистанционное зондирование поверхности Земли для получения информации о состоянии сельскохозяйственных угодий, с использованием летательных аппаратов и искусственных спутников Земли все больше входит в нашу повседневную жизнь (Шпаар, 2009). Это вызвано прежде всего необходимостью получения оперативной и достоверной информации с больших площадей сельскохозяйственных угодий о фитосанитарном состоянии посевов для принятия экономически и экологически оправданных мероприятий по применению средств защиты растений в сжатые агросроки против сорной растительности, вредителей и болезней сельскохозяйственных культур.

В связи с чем, в настоящее время активно проводятся исследования по разработке дистанционных методов фитосанитарного мониторинга геокодированного съема информации с участков поля. Для дистанционного съема информации с помощью данных методов в настоящее время широко используются отечественные и зарубежные космические аппараты, авиационные средства (самолеты, вертолеты, сверхлегкие и беспилотные летательные аппараты (Павлюшин, Лысов, 2019).

Дистанционное зондирование поверхности Земли с помощью космических аппаратов в области защиты растений включает решение следующих задач:

определение границ участков обследуемых сельскохозяйственных культур;

получения исходной информации по определению границ ареалов распространения вредоносных объектов на уровне районов и областей для построения с помощью ГИС технологий векторных карт распространения вредных объектов в различных агроклиматических зонах РФ и стран ближнего зарубежья.

Для дистанционного фитосанитарного мониторинга на конкретных участках поля с использованием сверхлегких и беспилотных летательных аппаратов в настоящее время нами проводятся исследования с использованием спектрометрических и оптических методов базирующихся на основе отражения электромагнитного излучения в пяти спектральных поддиапазонах: ультрафиолетовый, синий, зеленый, красный, ближний ИК.

Одной из главных задач анализа получаемой информации при дистанционных методах фитосанитарного мониторинга является наличие информативных признаков, характеризующих исследуемый объект. Информативные признаки, характеризующие исследуемый объект на подстилающей поверхности, можно подразделить на следующие группы:

- яркостные;
- геометрические;
- структурные (Григорьев, 2014).

В нашем случае, для решения задач дешифрации получаемых изображений снимков участка поля, необходимо знать различия характеристик отражения электромагнитного излучения различными поверхностями объектов, находящихся на участках поля (культурные и сорные растения, почва, здоровые и больные растения, растения поврежденные вредителями).

Материалы и методы

Исследования для получения данных о спектральных характеристиках отражения культурных и сорных растениях, а также растений картофеля пораженным вирусами проводились с использованием оптико-электронного прибора спектро радиометра PSR-1100. Данный прибор представляет собой оптико-электронное устройство для спектро радиометрических измерений в диапазоне длин волн электромагнитного излучения 320–1100 нм (рис. 1). Угловое поле зрения прибора составляет 4°.

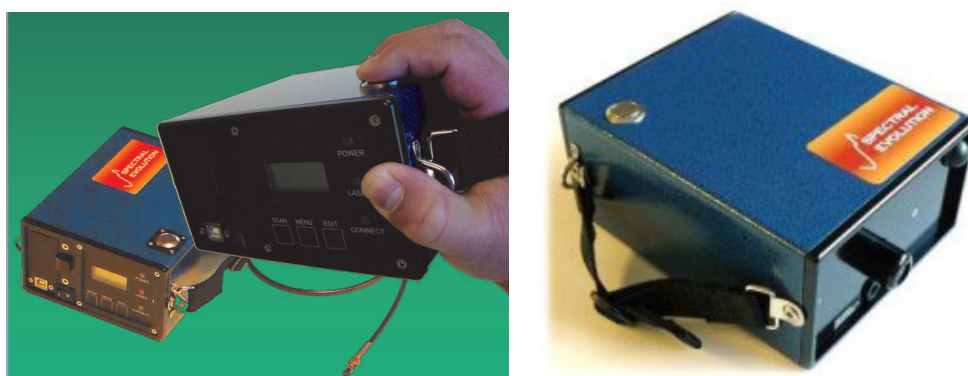


Рис. 1. Прибор спектро радиометр PSR 1100

Спектро радиометр PSR-1100 оснащён многоэлементным приёмником излучения, сформированным из 512 элементов. Он обеспечивает измерения со спектральным разрешением 3,2 нм. Каждое измерение PSR-1100 сохраняется в памяти устройства в виде файла с расширением *.sed, который используется в программном обеспечении (ПО) DARWin SP в качестве входных данных. Измеряемая устройством величина Radiance – спектральная плотность энергетической яркости (СПЭЯ); единица измерения – Вт/(см²·ср·нм).

Значение СПЭЯ, регистрируемое спектро радиометром, зависит от положения Солнца и метеорологических условий. Для обеспечения возможности

непосредственного сравнения результатов полевых измерений требуется минимизировать вариации освещённости, которые обуславливаются динамикой Солнца и фактором облачности. В силу этого проводились измерения в ясную погоду и с минимально возможными промежутками по времени. В рамках работы анализ измерений PSR-1100 проводится при допущении о стационарности во времени условий освещённости в течение периода измерений. Кроме того, проведение отдельных измерений основывалось на принципе многократного измерения (не менее трёх) характеристики для одного объекта, имеющего целью исключить фактор ошибки оператора и уменьшить вероятность получения недостоверного результата. При этом спектрорадиометрические и калибровочные измерения проводились в идентичных условиях с выдерживанием расстояния от прибора до объекта и с ориентацией прибора в надирном направлении (Лысов, Корнилов, 2019).

Необходимым опорным измерением являлась калибровочная характеристика, определяемая в результате измерения СПЭЯ, отражённого от белой калибровочной панели излучения.

Белая калибровочная панель обладает свойствами идеально диффузно рассеивающей поверхности в рабочем диапазоне длин волн спектрорадиометра. Калибровочные измерения производились в начале каждого опыта со спектрорадиометром, а также в течение периода времени выполнения работ при изменении условий освещённости.

Обработка результатов измерений заключается в получении спектральных характеристик отражения различных объектов в виде зависимостей СПЭЯ и коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) от длины волны. Для расчета КСЯ применяется формула:

$$p(\lambda) = \frac{B(\lambda)}{B_0(\lambda)} \quad (1)$$

$p(\lambda)$ – КСЯ; $B(\lambda)$ – СПЭЯ исследуемой поверхности в заданном направлении; $B_0(\lambda)$ – СПЭЯ идеально рассеивающей поверхности с единичным

коэффициентом отражения и освещённой так же, как и исследуемая поверхность.

В качестве оценки величины $B_0(\lambda)$ используется калибровочная характеристика, полученная в результате измерения СПЭЯ калибровочной панели в условиях эксперимента. Определение спектральных характеристик отражения культурных и сорных растений проводились на двух полях в Самарской области. На одном поле были зерновые культуры, второе поле – черный пар. На каждом поле было выбрано по 12 опорных учетных площадок с геокодированной привязкой для ручных учетов и снятия спектральных характеристик отражения культурных и сорных растений. Одновременно, с участием специалистов фирмы ООО Птеро, проводилась съемка исследуемых полей с учетными площадками с использованием многоспектральной камерой RedEdge, (рис. 2), смонтированной на беспилотном летательном аппарате.



Рис. 2. Мультиспектральная камера MicaSense RedEdge

Для сравнения спектральных характеристик отражения здоровых растений картофеля и пораженных вирусами эксперимент проводился в лабораторных условиях. Для этих целей были выращены по 24 растений картофеля сорта Гала, 24 растений данного сорта были искусственно заражены вирусом-У в лаборатории иммунитета растений к болезням ВИЗР (Хютти).

Результаты и обсуждение

На основе проведенных учетов в опорных точках поля с озимым тритикале были выявлены основные сорные растения: осот полевой, марь белая, латук (молокан) татарский ромашка пахучая, бодяк щетинистый незабудка, смолевка обыкновенная, вьюнок, щирица, горец и сняты спектральные характеристики отражения озимого тритикале и сорных растений. Параметры радиоспектрометрии озимого тритикале и преобладающих сорных растений представлены на рис. 3.

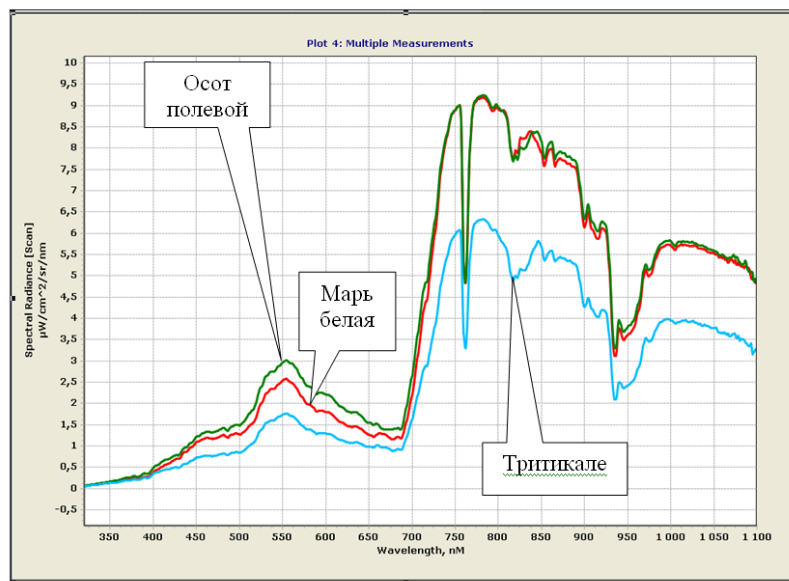


Рис. 3. Самарская область, основная культура озимое тритикале, типичные сорняки: марь белая, осот полевой

На поле с чистом паром в опорных точках были выявлены следующие основные сорные растения: вьюнок, смолевка обыкновенная, татарник, щирица, бодяк полевой. Параметры радиоспектрометрии поля с чистым паром и преобладающих на нем сорных растений представлены на рис. 4.

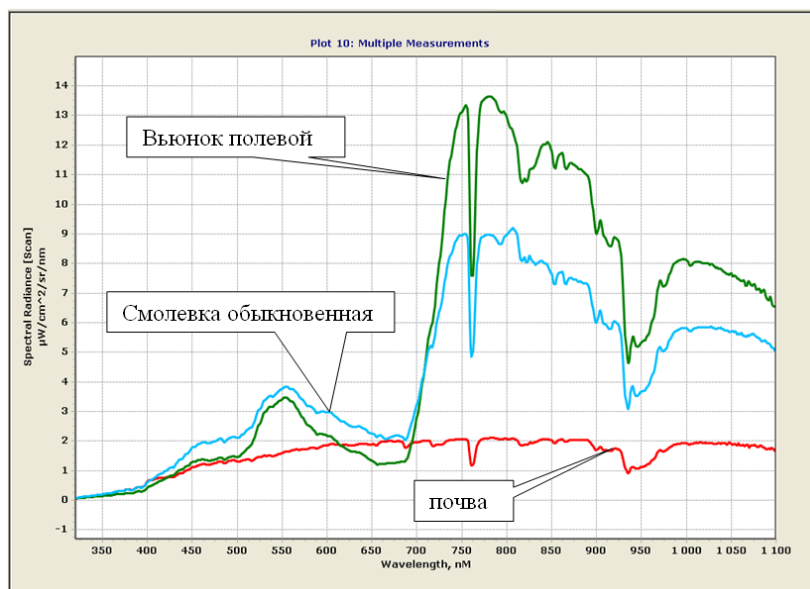


Рис.4. Самарская область, чистый пар, почва, типичные сорняки: смолевка обыкновенная и вьюнок полевой

Спектральный состав отразившегося от растения солнечного излучения в интервале длин волн $\lambda - 0,4...2,5$ мкм зависит в основном от интенсивности поглощения радиации хлорофиллом и видимой области и водой в средней зоне спектра, а также от интенсивности отражения, обусловленного особенностями гистологии листьев, в ближней ИК-зоне спектра $\lambda = 0,75...1,3$ мкм.

В видимой области спектра ассимиляция лучистой энергии растениями наиболее интенсивна. Максимум поглощения приходится на интервалы $\lambda = 0,40...0,47$ мкм в синей и $\lambda = 0,59...0,68$ мкм в красной зонах спектра, а максимум отражения — в зеленой зоне спектра с экстремумом около $\lambda = 0,54$ мкм.

Анализ спектральной отражательной способности растений к интервалу $\lambda = 0,4...2,5$ мкм и ее изменений во времени свидетельствует о том, что при правильном выборе параметров многозональной съемочной системы и сроков съемки можно решить ряд практических задач по определению вида растений и их состояния. В реальных условиях почвы растительностью часто полностью не покрыты. Поэтому на радиационную информацию о растительности и ее состоянии будет накладываться информация о почвах.

КСЯ системы «почва – растительность» определяют по формуле:

$$R_{sv} = P_v r_v + P_s r_s \quad (2)$$

где P_v и P_s — части площади, соответственно покрытые и не покрытые растительностью; r_v и r_s — коэффициенты спектральной яркости растений и почвы;

По результатам съемок спектральных характеристик на зерновых культурах можно сделать вывод, что коэффициент спектральной яркости в диапазоне снимаемых характеристик 0,32–1,1 мкм позволяет отличать такие сорные растений следующих видов:

Корнеотпрысковые многолетние травы: Вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*), Бодяк щетинистый (*Cirsium setosum*), Осот полевой (*Sonchus arvensis*), Латук (молокан) татарский (*Lactuca tatarica*);

Травянистые двулетники или многолетники: Смолевка карликовая (*Silene pana*);

Травянистые однолетники, реже двулетники: Незабудка полевая (*Myosotis arvensis*);

Поздние яровые однолетние травы: Марь белая (*Amarathus retroflexus*), Щирица запрокинутая (*Amarathus retroflexus*), Щирица запрокинутая (*Amaranthus blitoides*), Просянка, ежовник обыкновенный, куриное просо (*Echinochloa crusgalli*), Щетинник сизый (*Setaria pumila*);

Ранние яровые однолетники: Гречишка вьюнковая (*Fallopia convolvulus*);

Ранние яровые, озимые или зимующие однолетники: Ромашка непахучая (*Tripleurospermum inodorum*), Ярутка полевая (*Thlaspi arvense*), Резушка (*Arabidopsis* sp.) от основной культуры – тритикале.

В период вегетации очень важно проведение комплекса профилактических мероприятий, направленных на максимальное снижение возможности распространения и заражения растений вирусной инфекцией

Обязательным профилактическим приемом, предотвращающим повторное заражение семенного картофеля инфекцией различной этиологии, является прочистка посадок от недоразвитых растений, пораженных вирусными

заболеваниями. Как правило, за сезон на семенных посадках проводятся две основные фиточистки: (Хютти, 2016).

первая при достижении растениями высоты 10–15 см – в это время выявляют и удаляют растения, отстающие в росте, с симптомами различных заболеваний;

вторая – в период от бутонизации до смыкания рядков, когда, как правило, уже наиболее четко могут проявиться внешние признаки вирусных заболеваний, и такие растения еще легко удалить.

Данные мероприятия проводят путем маршрутного обследования посадок картофеля и правильность принятия решения об удалении больного растения, пораженного вирусом, зависит от уровня квалификации и практического опыта специалиста, выполняющего данный технологический прием.

Для автоматизации данного технологического приема была проведена в лабораторных условиях оценка спектральных характеристик отражения здоровых растений картофеля и растений, пораженных наиболее вредоносным вирусом-У. Полученные результаты эксперимента представлены на рис. 5.

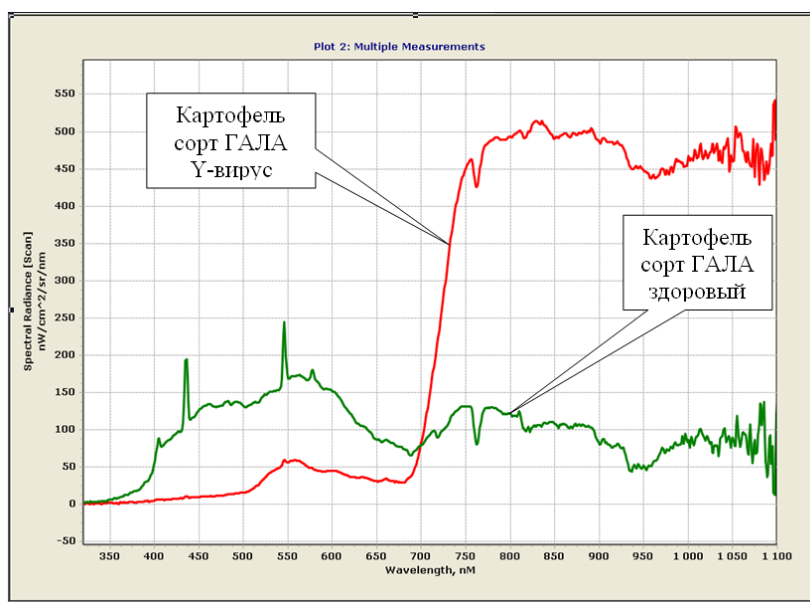


Рис. 5. Лабораторные исследования, картофель сорт ГАЛА, здоровый и пораженный У-вирусом

Анализ полученных результатов показывает явное различие в характеристиках отражения электромагнитного излучения от здоровых и

пораженных вирусом Y растений картофеля в диапазоне длин волн красного и ближнего УК излучения. Таким образом можно считать перспективным использование данного метода для разработки дистанционного метода выявления в посадках картофеля растений, пораженных Y-вирусом.

Выражаем большую благодарность за возможность использовать спектрорадиометр PSR-1100 руководителю ЦКУ «КосмоИнформ-Центр» Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения Чичковой Елене Федоровне.

Список литературы

1. Точное сельское хозяйство (Precision agriculture). Под общей редакцией Д. Шпаар, А. В. Захаренко, В. П. Якушев. СПб., 2009;
2. Павлюшин В.А., Лысов А.К. Фитосанитарная безопасность агроэкосистем и дистанционный фитосанитарный мониторинг в защите растений Современные проблемы дистанционного зондирования поверхности Земли. 2019. Т. 16. № 3. С. 69–78.
3. Григорьев А.Н. Методика формирования спектральных характеристик объектов на основе мультивременных данных космической гиперспектральной съемки /А. Н. Григорьев/ Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ФГБНУ ИКИРАН, 2014. Т. 11. № 2. С. 175–184.
4. Лысов А.К., Корнилов Т.В. Цифровые технологии дистанционного мониторинга для дискретного внесения средств защиты растений. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 1(98). С. 17–27.
5. Система интегрированной защиты репродукционного семенного картофеля от комплекса вредных организмов в Северо-Западном регионе Российской Федерации. Сухорученко Г.И., Иванова Г.П., Волгарев С.А., Вилкова Н.А., Фасулати С.Р., Верещагина А.Б., Берим М.Н., Хютти А.В., Фоминых Т.С., Ганнибал Ф.Б., Павлюшин В.А., Данилов Л.Г., Лазарев А.М., Буркова Л.А., Долженко О.В., Гришечкина Л.Д., Маханькова Т.А., Голубев А.С., Лысов А.К., Корнилов Т.В. и др. Санкт-Петербург – Пушкин, 2016. С. 64.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЧНОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА ВЫМЫВ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПОЧВ

В. Н. Маркин, В. В. Шабанов

*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, институт мелиорации, водного хозяйства
и строительства им. А.Н. Костякова*

Точное орошение осуществляется с учетом пространственной неоднородности распределения влажности почвы. Это повышает урожайность, качество продукции растениеводства и уменьшить объемы вымыва питательных веществ из почвы. По сравнению с традиционным орошением, точное орошение позволяет снизить объемы вымыва веществ до 50%, при снижении поливной нормы до 35% в зависимости от средней влажности, коэффициента вариации и диапазона регулирования.

Ключевые слова: точная мелиорация, факторы среды, вымыв веществ, почвенная неоднородность, орошение.

INFLUENCE OF THE PRECISE RECLAMATION ON NUTRIENT LEACHING FROM THE SOIL

V. N. Markin, V. V. Shabanov

*RSAU-MTAA named after K. A. Timiryazev, Institute of land reclamation, water
management and construction named after A. N. Kostyakova*

Precise irrigation takes into account the spatial heterogeneity of the soil moisture. This increases the yield of crops. Moreover, amount of plant nutrient leaching of from the soil and irrigation rates are reduced. The estimation of these environmental effects was made with the help of mathematical modeling, which takes into account the spatial heterogeneity of the distribution of soil moisture. Different irrigation options are considered, taking into account the law of humidity distribution. The distribution functions of mobile forms of nutrients and soil moisture correspond to the law of normal distribution. In comparison with traditional irrigation, precise irrigation reduces the amount of substances leaching until 50%. An irrigation rate is reduced to 35%. These depend on the average, coefficient of variation of soil moisture and range of soil moisture regulation.

Keywords: precise reclamation, environmental factors, leaching of substances, soil heterogeneity, irrigation.

Точное управление факторами жизни растений посредством мелиоративной системы, как средства точного земледелия, позволяет повысить биопродуктивность и качество сельскохозяйственной продукции растениеводства и нацелено на снижение антропогенной нагрузки на окружающую природную среду, в частности поверхностные водные объекты [Шабанов, Голованов, 2019]. Точная мелиорация осуществляется с учетом пространственно-временной почвенной неоднородности условий произрастания растений и функционирования почвенной биоты. Это подразумевает

возможность локального повышения содержания фактора (например, влажности с помощью дифференцированного орошения и содержания подвижных форм питательных веществ в почве путем фертигации) или понижения (например, влажности почвы с помощью выборочного осушения).

Выравнивание условий произрастания растений на сельскохозяйственных землях приводит к выравниванию, и тем самым, повышению, урожайности на 36% [Кирюшин, 1996]. При этом следует оценить природоохранную эффективность точной мелиорации, в частности снижения объемов вымыва веществ из почвы. Такая оценка может быть сделана путем математического моделирования и анализа распределения почвенных влагозапасов и подвижных форм питательных веществ в почве [Аверьянов и др., 1974]. Для этого, вначале выделим основные факторы, влияющие на вымыв веществ. Факторы должны определять объем вымыва и быть управляемыми человеком в процессе точного мелиоративного регулирования.

Объем вымыва питательных веществ из почвы определяется такими факторами, как [Маркин, 1990]:

– объем воды, поступающей на почву, например, при выпадении дождя или проведения полива (M). Вымыв веществ, определяется интенсивностью и временем поступления воды;

– влажность почвы перед началом поступления на почву воды (W).
Определяет объем инфильтрации;

– содержание рассматриваемого вещества в почве (G). Источник загрязнения;

– мощность слоя почвы (H). Определяет, в данном случае, объем вещества в слое почвы, а значит и объем вымыва веществ.

$$V=f(M, W, G, H)$$

Данная зависимость может быть определена на основании теории размерности [Седов, 1972].

Для этого запишем функцию представив объем вымыва V в виде скорости (мгновенный объем) v :

$$v=f(M*K, G*H),$$

где v – скорость вымыва вещества из почвы, кг/с; $M \cdot K$ – удельный расход воды проходящий через почву, м²/с; M – слой поступающей на почву воды, м; K – коэффициент инфильтрации, м/с; G – содержание рассматриваемого вещества в одном кубическом метре почвы, кг/м³; H – мощность слоя аэрации почв, из которого происходит вымыв веществ, м; $G \cdot H$ – удельная масса вещества в слое аэрации почвы, кг/м².

Имеется три независимые размерности: масса, длина, время и три зависимых размерности. Это позволяет составить одну независимую комбинацию:

$$[V/MkGH] = \text{кг} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^3 / \text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{м} \quad K = K_{\phi} \cdot [(W - W_0) / (ПВ - W_0)]^n,$$

где n – коэффициент учитывающий тип почв (по Никольскому Ю.И. для глубоко залежных низинных торфяников $n=3,5$); K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут.; ПВ – полная влагоемкость; W_0 – максимально-гигроскопическая влажность.

В конечном виде зависимость для определения средней скорости вымыва массы биогенного вещества и слоя аэрации почвы представляется в виде:

$$V = M \cdot k \cdot G \cdot H, \text{ кг/с.}$$

Данная зависимость подтверждена лабораторными опытами по промывке монолитов ненарушенной структуры мощностью 50 см и 100 см при разной начальной влажности и содержании нитратного, аммонийного азота и калия из глубокозалежного низинного торфа. Кроме того, проведенные натурные исследования вымыва данных веществ из торфяника (норма осушения 100 см с глубиной заложения гончарного дренажа 130 см междреннее расстояние 20 м, диаметр дрен 100 мм), так же подтверждают линейность зависимости объемов вымыва от объема поступающей на почву воды (M) и содержания в почве рассматриваемого вещества (G) [Маркин, Костюков, 1986].

Статистические характеристики пространственного распределения факторов, влияющих на вымыв веществ изучались в грунтовых водах, на поле осушаемого низинного глубокозалежного торфяника площадью 7,5 га. [Маркин, 1987]. Эксперимент проводился после уборки урожая ячменя. Пробы на анализ грунтовых вод брались из скважин, пробуренных на 15...20 см ниже уровня грунтовых вод (УГВ). В отобранных пробах определялось содержание

нитратного (NO₃) и аммонийного (NH₄) азота, калия (K₂O). Отбор проб осуществлялся в узлах сетки квадратов 50×50 м (рис. 1) в три срока с интервалом семь дней. Одновременно проводился послойный отбор проб торфа в зоне аэрации.

Определялись статистические характеристики: среднее значение (X_{cp}); среднеквадратическое отклонение ($\sigma = \sqrt{\sum (X_i - X_{cp})^2 / n}$); ошибка среднего ($\delta = \sigma / \sqrt{n}$), где n количество данных в ряду (табл. 1) [Маркин, 2013].

Таблица 1. Площадные статистические характеристики изменения концентрации веществ в грунтовых водах ($n = 48$)

Величина	Вещество		
	NO ₃	NH ₄	K ₂ O
X_{cp} , мг/л	0,17	1,99	7,69
σ , мг/л	0,69	1,42	15,68
δ , %	37	8	19
Cv	4,05	0,71	2,04

Значения коэффициентов вариации концентрации веществ в грунтовых водах показывают о значительном разбросе ($Cv > 0.5$).

Несмотря на большие коэффициенты вариации эмпирические площадные плотности распределения содержания подвижных форм макроэлементов (NO₃, NH₄, K₂O) в грунтовой воде и почве достаточно хорошо соответствуют закону нормального распределения, что определялось на 5% уровне значимости с помощью χ^2 -критерия. [Маркин, 1990].

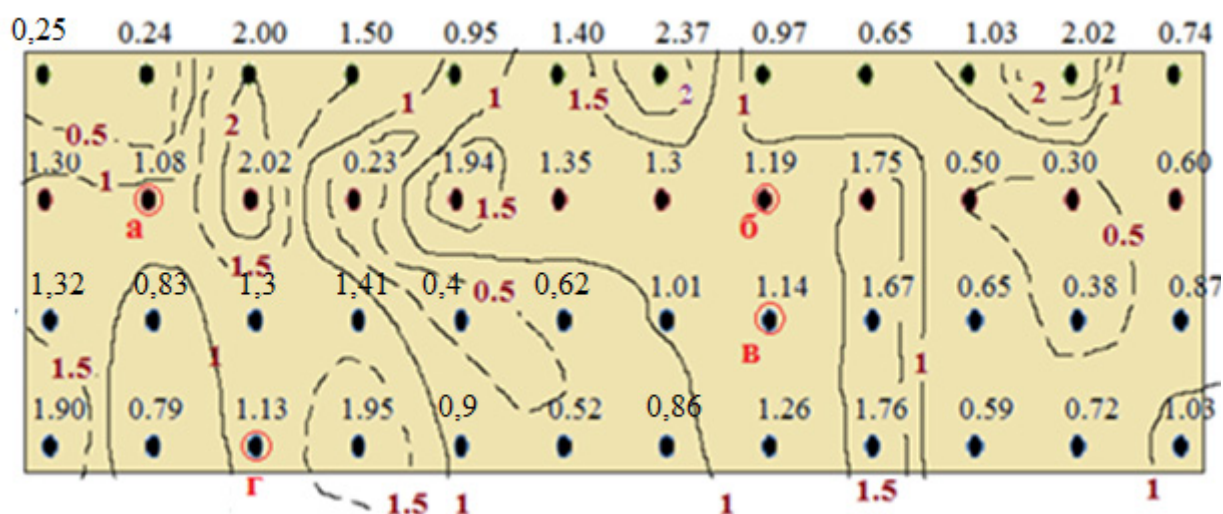


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб, концентрации NH₄ и их изолинии

Метод исследования. Применен метод имитации влияния мелиоративного регулирования влажности почвы на вымыва веществ из зоны аэрации. Влажность почвы регулируется посредством орошения и непосредственно зависит от поливной нормы и определяет ее.

Предполагалось, что изменяется только один фактор при неизменных других. Имитация регулирования влажности проведена путем сравнения ее величины, которая имеет определенную вероятность появления (в соответствии с плотностью распределения), с оптимальным для растений диапазоном регулирования. Поливная норма доводит влажность до нижнего оптимального предела. Учитывая линейную связь, определяется объем вымыва веществ в зависимости от поливной нормы (см. зависимость выше, полученную методом анализа размерности).

Суммарный объем вымыва со всего поля, учитывая неоднородность распределения влажности, определен по формуле:

$$V = \frac{1}{n} \sum_i^n (P(W_i)M), \text{ где } P(W_i) = EXP \left(\frac{\left(\frac{W}{W_{\text{cp}}} - 1 \right)^2}{2Cv^2} \right).$$

Неоднородность учитывалась законом нормального распределения, который записан относительно коэффициента вариации Cv .

Более общий результат получается при использовании относительных значений поливных норм (M) и влажности (W):

$$M_i/M(W_{opt}) \quad M(W_{opt})=1 \quad W=(w-B3)/(ПВ-B3)$$

где W_{opt} – оптимальная влажность почвы; где $B3$ – влажность завядания; w – фактическая влажность почвы.

Диапазон регулирования влажности почвы $\Delta W=W' \dots W''$ задавался по трем вариантам:

№ варианта	Характеристика	Диапазон	
		W'	W''
1	широкий	0,5	0,8
2	средний	0,6	0,7
3	узкий (для точного управления)	0,6	0,65

Данные диапазоны поддерживаются в пределах орошаемого поля. Традиционное орошение одной нормой проводилось без учета почвенной неоднородности, что в опыте использовался как контрольный вариант (без изменения закона распределения, по крайней мере коэффициента вариации). Учет неоднородности реализован путем изменения кривой распределения (изменения среднего) за счет доведения влажности в конкретной точке до оптимального предела (вся кривая распределения располагается в пределах диапазона регулирования).

Коэффициент вариации влажности почвы обычно не превышает 0,5, но для построения зависимостей и выявления их тенденций, при моделировании C_v задавался в пределах 0,3...1,1 и разных значений средней влажности.

Результаты

1. **Имитация традиционного орошения** (дается одинаковая поливная норма на все поле). Наибольшие значения вымыва достигаются при снижении средней относительной влажности до проведения полива. Это объясняется подачей больших поливных норм для достижения оптимального диапазона (рис. 2). Увеличение коэффициента вариации увеличивает относительные объемы вымыва, которые практически (с точностью до 10%) перестают зависеть от среднего при $C_v > 1,1$. В реальных условиях коэффициент вариации влажности почвы обычно не превышает 0,5, когда влияние среднего значения и коэффициента вариации влажности на вымыв веществ составляет, соответственно: 63 и 37%.

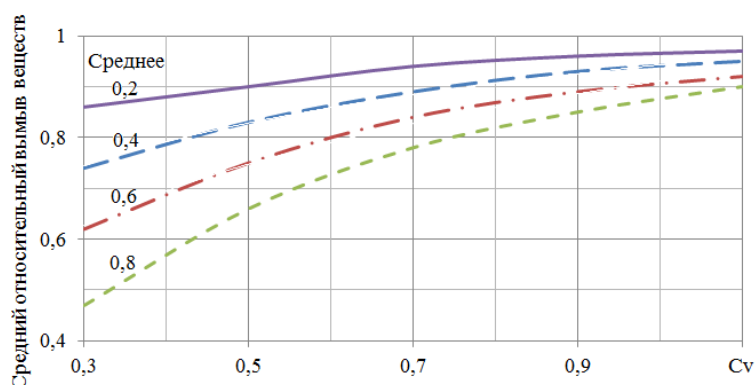


Рис. 2. Изменение среднего относительного вымыва веществ из почвы в зависимости от коэффициента вариации и среднего значения предполивной влажности почвы

2. Регулирование влажности с учетом разных диапазонов регулирования и почвенной неоднородности. Точное регулирование влажности почвы и поддержание заданного диапазона в условиях почвенной неоднородности приводит к снижению суммарного объема вымыва веществ по сравнению с традиционным поливом (рис. 3). Это связано с тем, что вода подается только в точки с низкой влажностью и не подается в точки с влажностью выше нижнего предела регулируемого диапазона. В этом случае снижается количество подаваемой на поле воды. Так при средней влажности 0,4 и $Cv = 0,5$, количество подаваемой воды снижается на 35% по сравнению с традиционным поливом. Чем больше вариация, тем эффект точного регулирования снижается по сравнению с традиционным поливом. При $Cv=0,3...0,5$ точное регулирование (диапазон 0,65...0,7) снижает вымыв на 50%. Расширение диапазона регулирования на каждые 5% приводит к увеличению вымыва на 10%.

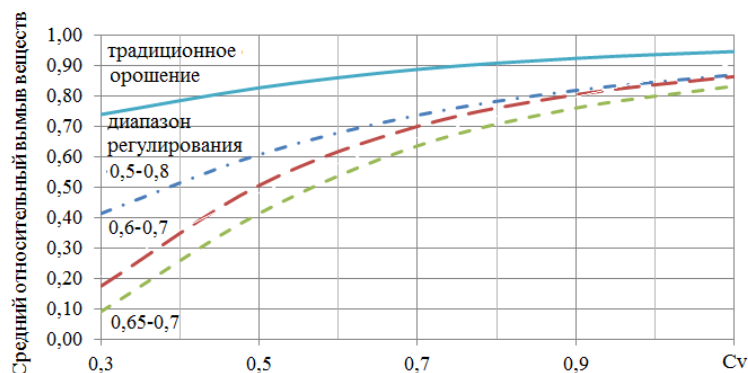


Рис. 3. Изменение среднего относительного вымыва веществ из почвы в зависимости от коэффициента вариации и ширины диапазона регулирования влажности почвы

Вывод. Орошение приводит к увеличению объемов вымыва веществ из зоны аэрации в зависимости от среднего значения и коэффициента вариации влажности почвы. Их вклад, соответственно составляет: 63 и 37%. Наибольший эффект от точного мелиоративного регулирования наблюдается при уменьшении варьирования, т. е. при «нормализации» кривой распределения. Точное мелиоративное регулирование позволяет снизить объемы вымыва веществ до 50%, при снижении поливной нормы до 35%.

Библиографический список

1. Аверьянов С.Ф. Статистические характеристики физических и химических свойств осушаемых торфяных почв /С. Ф. Аверьянов [и др.] //Труды МГМИ, вып. «Сельскохозяйственные мелиорации», т. XXXVI, 1974. С. 70–74.
2. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия /В. И. Кирюшин. М.: Колос, 1996. 365 с.
3. Маркин В.Н. Описание процесса изменения содержания NO_3 , NH_4 , K_2O в почве во времени. // Сборник трудов. Повышение эффективности мелиорируемых и использования водных ресурсов в мелиорации. М.: МГМИ, 1987
4. Маркин В.Н. Определение площадных характеристик распределения концентрации биогенных веществ в грунтовых водах осушаемого // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы комплексного обустройства техноприродных систем». Часть II «Мелиорация, рекультивация и охрана земель». М.: МГУП, 2013. С. 26–35.
5. Маркин В.Н. Изучение стохастического процесса изменения концентрации нитратов в грунтовых водах / В.Н. Маркин, И.С. Костюков // Сборник трудов. Комплексные мелиорации. М.: МГМИ, 1986.
6. Раткович Л.Д. Факторы влияния диффузного загрязнения на водные объекты / Л. Д. Раткович, В. Н. Маркин, И. В. Глазунова, С. А. Соколова // Природообустройство. 2016. № 3. С. 64–75.
7. Седов Л.И. Методы подобия и размерностей в механике. Изд. 5-е. М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1972. 440 с.
8. Шабанов В.В. Некоторые аспекты точной мелиорации / В. В. Шабанов, А. И. Голованов // Природообустройство. 2019. № 1. С. 92–95.
9. Шевцов В. А. Влияние длительного окультуривания на агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы и урожайность озимой ржи. Специальность 06.01.01 – общее земледелие, растениеводство. Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. М.: РГАУ-МСХА, 2018. С. 147.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В. Н. Маркин, В. В. Шабанов

РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова

Точная мелиорация направлена на комплексное управление факторами жизни растений и почвенной биоты, с учетом пространственно-временной неоднородности плодородия. Точное (точечное) управление позволяет выравнять неоднородность, повышая среднюю на поле урожайность и создавая оптимальные условия для почвенной биоты в каждой точке поля. В работе рассмотрены вопросы оценки влияния почвенной неоднородности на среднюю урожайность на поле и определение необходимого предела выравнивания неравномерности распределения фактора в пределах поля.

Ключевые слова: плодородие, точная мелиорация, факторы среды, требования растений и почвенной биоты, неоднородность почвенного плодородия.

ESTIMATION OF THE SOIL FERTILITY IMPACT HETEROGENEITY ON CROP PRODUCTIVITY

V. N. Markin, V. V. Shabanov

RSAU – MTAА, Institute of Amelioration, water management and construction named after A.N. Kostyakov

Precision farming allows making differential management of environment factors. The main tool for precision agriculture is precise land reclamation. It gives an opportunity to make complex management by factors of plants and soil biota, taking into account spatial and temporal heterogeneity of fertility. Equalizing heterogeneity with the help of precision reclamation increases the average yield on the field and creates optimal conditions for soil biota at each point of the field. In the paper estimation of the impact of soil heterogeneity on the average yield are considered. The necessary limit for leveling the uneven distribution of the factor within the field is determined.

Keywords: precise land reclamation, environmental factors, plant requirements, heterogeneity of soil fertility.

В законодательных актах и, в частности, в ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения от 16.07.1998 № 101-ФЗ», определение понятия плодородия формулируется следующим образом: «Плодородие земель сельскохозяйственного назначения – способность почвы удовлетворять потребность сельскохозяйственных культурных растений в питательных веществах, воздухе, воде, тепле, биологической и физико-химической среде и

обеспечивать урожай сельскохозяйственных культурных растений». Представляется, что такая формулировка не совсем полная. В ней нет самого главного и основного компонента почвенного плодородия – почвенной биоты. В связи с чем предлагается следующая формулировка – «Плодородие земель сельскохозяйственного назначения – способность почвы удовлетворять *потребность растений и почвенной биоты* в питательных веществах, воздухе, воде, тепле, биологической и физико-химической среде и обеспечивать урожай сельскохозяйственных растений и *собственное воспроизводство*». Такая постановка требует управление условиями среды не только для растений, но для почвенной биоты.

Почвенная биота в процессе эволюции приспособлялась к широкому спектру условий. Это обусловило большое разнообразие и дифференциацию размещения отдельных сообществ организмов по территории. Объемы почвенного слоя, занимаемые каждым сообществом, могут варьировать в широких пределах и зависят от физических, химических свойств почвы и наличия, в этом объеме, органического вещества. Все это привело к необходимости учета такого разнообразия, и способствовало возникновению и становлению точного земледелия. Точное земледелие, по определению, должно дифференцированно управлять процессом выращивания сельскохозяйственных растений, на элементарных площадях от долей до десятков гектаров. При этом, управление предусматривает учет пространственной неоднородности условий произрастания растений на каждом конкретном участке поля с точностью до 1 м [Якушев, 2016].

Точное мелиоративное регулирование, как *инструмент точного земледелия*, позволяет комплексно управлять факторами жизни не только растений, но и почвенной биоты, с учетом их пространственно-временной неоднородности. Средства регулирования направлены на повышение содержания уровня фактора (например, влажности почвы посредством выборочного орошения) или понижения (с помощью выборочного осушения). Аналогично можно осуществлять регулирование пищевого режима подавая с водой растворимые удобрения или создавая оптимальные условия для функционирования почвенной биоты. Возможности управления условиями

произрастания растений в открытом грунте, без точной мелиорации, ограничены и имеют разную эффективность. Если подать воду для орошения можно практически в любую конкретную точку поля, то осушение возможно в пределах почвенной разности площадью не менее 50 м² (осушающее действие колодца поглотителя в тяжелых почво-грунтах), до 200 м² (действие дрены). Поэтому технические вопросы управления конкретным фактором должны рассматриваться индивидуально для каждого поля.

Неоднородность почв может учитываться на всех уровнях: глобальном, региональном, локальном и микроуровнях [Витковская, 2011]. Глобальный уровень неоднородности почвенного покрова обусловлен термическими особенностями климата и условиями увлажнения. Он характеризуется разнообразием типов и подтипов почв на Земной поверхности. В России насчитывается 848 подтипов почв [Шишов и др., 2004]. Учитывая, что каждый подтип почв должен иметь свой мелиоративный режим [Голованов, 2015], необходимо большое разнообразие «управляющих воздействий» в пространстве и во времени даже на региональном уровне. Региональный уровень неоднородности почвенного покрова обусловлен особенностями температурного режима почв и сезонного увлажнения внутри почвенных зон, особенностями рельефа и почвообразующих пород. Локальный уровень неоднородности почвенного покрова проявляется внутри элементарных почвенных ареалов (1...20 га) и обусловлен вариабельностью микрорельефа, мощностью и формами границ почвенных горизонтов, неоднородностью агрохимических и агрофизических свойств пахотного слоя и др. А значит, распределением ареалов почвенной биоты. На микроуровне нужно учитывать неоднородность состава корнеобитаемого слоя, концентрация элементов питания, качественный и количественный состав микрофлоры, и т. д. Вопросы точного мелиоративного регулирования факторов относятся к локальному и микроуровням.

Выравнивание однородности в пределах поля скажется на выровненном уровне продуктивности сельскохозяйственной культуры [Кирюшин, 1996]. Так, использование технологий точного земледелия позволяет поднять урожайность на 36% (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность яровой пшеницы при различных уровнях интенсификации технологий, ц/га (2006 г.) [Лекомцев, 2015]

Технология*	Средняя урожайность по почвенным неоднородностям	Эффективность точного земледелия, %
Контроль	27,23	37
Хозяйственная	27,83	36
Высокоинтенсивная	33,65	22
Точное земледелие	43,20	
НСР _{5%}	0,4	

*Контроль (экстенсивная технология) – без удобрений;
 Хозяйственная (нормальная технология) – N50 P50 K50;
 Высокоинтенсивная (интенсивная технология) – N110 P70 K110;
 Точное земледелие – как и высокоинтенсивная, но внесение азотных и калийные удобрений с учётом неоднородного их содержания в почве.

Предел «выровненности» плодородия на поле определяется значением коэффициента вариации не превышающем 25% [Розанов, 1987]. Причем, в натуральных условиях, даже в условиях опытных участков, вариация показателей почвенного плодородия отмечается в пределах 15...86% [Витковская, 2011].

В природе почвенная неоднородность обеспечивает разнообразие условий обитания организмов (расширяет экологические ниши), тем самым обеспечивая видовое разнообразие организмов. Последнее, залог устойчивости экосистем. В условиях агроценоза, в котором произрастает монокультура, пределы экологической ниши искусственно сужаются выбором наиболее продуктивных сортов, для повышения урожайности. Разнообразие уменьшается путем выравнивания условий – снижения коэффициентов вариации факторов.

Это повышает среднюю урожайность, но отрицательно влияет на почвенную биоту и делает агроценоз более зависимым от управляющего влияния человека. Поэтому следует определить тот уровень, до которого приемлемо выравнивать плодородие почв. Обоснование уровня следует проводить на основе оценки эколого-экономических условий. Экологически, данный уровень для конкретного фактора (φ) определяется по кривой требований растений (рис. 1) $S = f(\varphi)$ в точках где производная продуктивности растений $dS/d\varphi = \pm 1$ (угол касательной равен 45°). Данный уровень выравнивания плодородия является скорее максимальным. Характеризуется высокой продуктивностью ($S \geq 0,9$) которая может быть реализована только с помощью средств точной мелиорации.

В земледелии широко используется практически обоснованный диапазон, который соответствует уровню продуктивности $S \approx 0,8$ (уровень продуктивности определяется как отношение фактической урожайности к максимально возможной в конкретных условиях) [Шабанов, 1972]. Данный уровень позволял управлять производственным процессом существовавшими техническими средствами. Часть экологической ниши, которую он выделяет, находится в пределах реализованной ниши. Нижняя граница последней соответствует уровню продуктивности примерно $S \approx 0,4$ (точка перегиба соответствует условию самовоспроизводства, «выживанию» растений).



Рис. 1. Изменение продуктивности растений (или элементов почвенной биоты) в пределах экологической ниши фактора жизни

В связи с изложенным, целесообразно более детально рассмотреть вопрос влияния неоднородности распределения в почве не только влажности, но и питательных веществ.

Рассматриваемые вопросы:

- оценка влияния почвенной неоднородности на среднюю урожайность поля;
- определение целесообразной степени выравнивания неоднородности распределения фактора в пределах поля.

Методика. Имитирующие исследования проведены с использованием кривых продуктивности:

- продуктивности растений или почвенного организма (S) в зависимости от фактора среды (φ);
- распределения фактора в пространстве (ρ).

Кривая продуктивности в нормированном виде задается выражением [Шабанов, 1982]:

$$S = \left[\frac{\varphi}{\varphi_{opt}} \right]^{\gamma \varphi_{opt}} \times \left[\frac{1 - \varphi}{1 - \varphi_{opt}} \right]^{\gamma(1 - \varphi_{opt})}$$

$$S = \frac{U}{U_{max}}; \varphi = [0...1]; S = [0...1],$$

где S – относительная урожайность сельскохозяйственных растений, представляющая собой отношение фактической урожайности (U) к максимально возможной урожайности в конкретных условиях (U_{max}); φ – относительное значение фактора, доли ед.; φ_{opt} – оптимальное значение фактора; γ – коэффициент, учитывающий саморегуляцию растений к условиям среды (в работе принято $\gamma = 5$ и $\varphi_{opt} = 0,6$ – что соответствует биологическим параметрам: многолетним злаковым травам, кормовым корнеплодам).

Разнообразие условий среды для влагозапасов, в первом приближении, может характеризоваться нормальным законом распределения, что [Шабанов, 1982; Маркин, 1990].

$$\rho = \exp \left[- \left(\frac{\varphi - \varphi_{cp}}{2\sigma} \right)^2 \right]$$

где ρ – плотность распределения; φ_{cp} – среднее относительное значение фактора; σ – среднеквадратическое отклонение.

Задаваясь n значениями фактора, определялась средняя продуктивность:

$$S_{cp} = \frac{1}{\sum \rho} \times \sum (S \times \rho).$$

Результаты и выводы. Продуктивность растений, при их выращивании в условиях поля зависит от того, насколько среднее значение фактора соответствует оптимальному для растений и степени неоднородности (что определяется коэффициентом вариации). Совпадение среднего и оптимального (линия $\varphi_{cp} = 0,6$ на рис. 2) отражает влияние вариации фактора, причем верхняя часть кривой (между точкам А...Б) соответствуют условиям точного регулирования со средней продуктивностью не менее 0,8 (экономически оптимальные условия) ... 0,9 (биологически оптимальные).

Увеличение неоднородности снижает продуктивность. При $Cv \geq 0,6$ неоднородность (Cv) перестает влиять на продуктивность. Не соответствие среднего значения оптимальному существенно влияет при величинах Cv до 0,4.

При Cv ниже 0,2 среднее значение влияет на продуктивность не однозначно, в зависимости от положения оптимального для растения значение фактора (φ_{opt}) относительно среднего (φ_{cp}): слева (влажные условия $\varphi_{opt} < \varphi_{cp}$), справа (засушливые условия $\varphi_{opt} > \varphi_{cp}$) или совпадает с ним ($\varphi_{opt} = \varphi_{cp}$). Более высокая продуктивность соответствует варианту $\varphi_{opt} = \varphi_{cp}$. Он достигается путем управления факторами жизни растений или совпадения условий среды требованиям растений. Последнее отвечает условиям выбора сортов и видов растений, наиболее приспособленных к конкретным условиям.

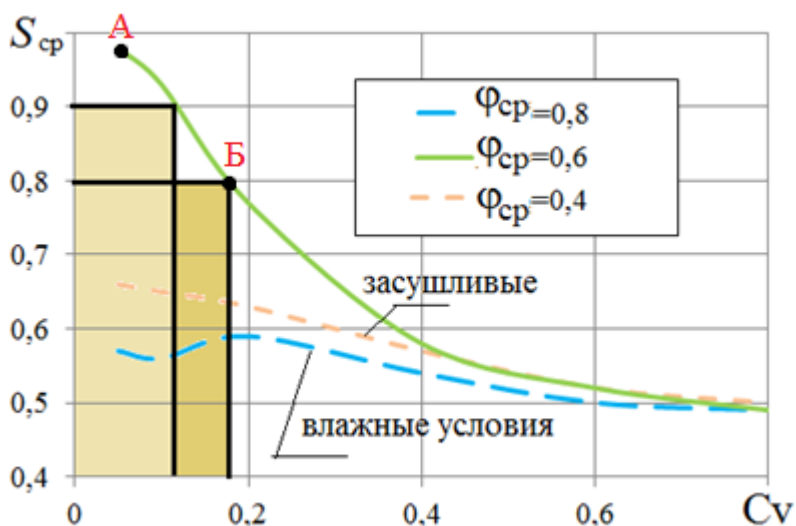


Рис. 2. Зависимость средней продуктивности растения (кривая требований показана на рис. 1) неоднородного массива в зависимости от среднего значения фактора (φ_{cp}) и коэффициента вариации (Cv)

Выводы. Эффективность точного мелиоративного регулирования зависит от среднего значения фактора среды выращивания растений (повышается продуктивность посева до 35%) и коэффициента вариации (эффективность до 32%).

Минимальный предел выравнивания почвенной неоднородности в пределах поля соответствует $Cv = 0,12$, обеспечивающий продуктивность $S \geq 0,9$. Практический уровень выравнивания неоднородности соответствует $Cv = 0,18$, обеспечивающий продуктивность $S \geq 0,8$.

Библиографический список

1. Виктор Г.Н. Пространственное варьирование агрохимических свойств и урожая зерновых культур в условиях неоднородности почвенного покрова стационарных полевых опытов // Аграрная Россия. 2016. № 10. С. 16–19.
2. Витковская С.Е. В54 Методы оценки неоднородности почвенного покрова при планировании и проведении полевых опытов. СПб.: Агрофизический НИИ, 2011. 52 с.
3. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.
4. Лекомцев П.В. Научно-методическое обеспечение управления продукционным процессом яровой пшеницы в системе точного земледелия: диссертация на соискание учёной степени доктора биологических наук по специальности 06.01.03 – агрофизика. СПб.: АФИ, 2015. 365 с.
5. Маркин В.Н. Прогноз влияния комплексного регулирования факторов жизни растений на вынос питательных веществ из почвы и загрязнение водоприемников: Автореф. дисс. канд. техн. наук. Московский гидромелиоративный ин-т. М., 1990. 22 с.
6. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: МГУ, 1983. 320 с.
7. Шабанов В.В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 141 с.
8. Шабанов В.В., Голованов А.И. Некоторые аспекты точной мелиорации // Природообустройство. 2019. № 1. С. 93–95.
9. Шишов Л.Л. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Издание 2-е, исправ. и доп. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Якушев В.В. Точное земледелие – практика внедрения и перспективы. Национальное движение берегающего земледелия / В. В. Якушев. СПб.: Агрофизический НИИ, 2016. 16 с.

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ВНУТРИПОЛЕВОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ

Д. А. Матвеев, В. В. Воропаев

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-29-05184.

В рамках выполнения проекта РФФИ разработан базовый алгоритм обнаружения и выделения границ внутриполевой изменчивости по оптическим критериям (индексам отражения), аэрокосмическим снимкам и наземной опорной информации. В основе алгоритма лежит процесс формирования проблемно-ориентированной базы знаний, содержащей формализованные сведения о формулах расчёта различных индексов отражения по тем или иным спектральным диапазонам, а также значения этих индексов, характеризующие физиологическое состояние посевов зерновых культур в оптимальных и стрессовых условиях. В докладе отражен полевой эксперимент с закладкой тестовых площадок для получения эталонных изображений посева с растениями, испытывающими стресс, связанный с недостатком азотного питания.

Ключевые слова: точное земледелие, внутриполевая изменчивость, базы знаний, дистанционное зондирование, гиперспектральные снимки, тестовые площадки, оптические характеристики растений

FORMATION OF A KNOWLEDGE BASE FOR CALCULATING SPECTRAL INDICES OF SOWING GRAIN CROPS TO IDENTIFY WITHIN-FIELD HETEROGENEITY

D. A. Matveenko, V. V. Voropaev

Agrophysical Research Institute

As part of the RFBR project, a basic algorithm of within-field heterogeneity identifying using optical criteria (reflection indices), aerospace images and ground reference information has been developed. The algorithm is based on the process of forming a problem-oriented knowledge base containing formalized information about the formulas for calculating various reflection indices for various spectral ranges, as well as the values of these indices characterizing the physiological state of grain crops under optimal and stressful conditions. The report describes a field experiment with the establishment of test sites for obtaining reference images of crops with plants under stress associated with a lack of nitrogen deficiency.

Keywords: precision agriculture, within-field heterogeneity, knowledge base, remote sensing, hyperspectral imagery, test sites, optical criteria of plants

Из всего разнообразия методов количественной оценки внутриполевой неоднородности условий формирования урожаев для решения задач точного земледелия наиболее перспективным является подход, базирующийся на

сопряженной обработке данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и наземной опорной информации. Дистанционное зондирование с использованием беспилотных летательных аппаратов становится все более популярным в сельском хозяйстве, поскольку представляет собой рентабельный и легкодоступный инструмент для сплошной непрерывной оценки состояния посевов с охватом одновременно значительных территорий для дальнейшего анализа и поддержки процессов принятия решений и управления (Якушев и другие, 2019).

Особый интерес для решения задачи выделения внутрислоевого неоднородности представляют возможности гиперспектрального дистанционного зондирования поверхности Земли, когда излучение регистрируется в большом числе узких (до 10 нм) спектральных зон – от нескольких десятков до нескольких сотен. Анализ гиперспектральных изображений позволяет одновременно определять значения различных вегетационных индексов отражения, характеризующих один и тот же объект в разных спектральных диапазонах. Гиперспектральное зондирование представляется весьма перспективным для определения на основании значений данных индексов характеристик состояния посева и среды его обитания, включая влажность, содержание органического вещества, питательных веществ, хлорофилла, каротиноидов, целлюлозы, биомассы и т. д. (Блохина, 2018).

Учеными АФИ было изучено изменение оптических характеристик растений при дефиците азота и воды. Исследования проводились в контролируемых условиях с целью исключения воздействия на растения других неблагоприятных факторов среды. В результате проведенных исследований предложены конкретный перечень оптических критериев (индексов отражения) и набор количественных характеристик по каждому критерию для оценки физиологического состояния яровой пшеницы при оптимальных условиях и дефиците азота и воды (Канаш и др., 2017). Таким образом, предложен новый подход, свидетельствующий о перспективности применения оптических критериев для исследования ответной реакции растений на действие различных

стрессоров и их комбинаций. Существенные различия оптических характеристик растений, испытывающих дефицит азота и воды, являются надежным обоснованием реализуемости алгоритма интерпретации (дешифрирования) спутниковых ДДЗ.

На основе данного подхода разработан базовый алгоритм обнаружения и выделения границ внутрислоевой неоднородности, основанный на использовании оптических критериев, характеризующих специфические и неспецифические особенности спектральных показателей посева при воздействии различных стрессоров (Якушев и др., 2020). В основе алгоритма лежит процесс формирования проблемно-ориентированной базы знаний (БЗ) и базы данных (БД). БД наполняется спутниковыми гиперспектральными снимками для расчёта оптических показателей посевов по критериям, содержащимся в БЗ. В БЗ накапливаются формализованные сведения о формулах расчёта различных оптических критериев по тем или иным спектральным диапазонам, а также систематизируются и сохраняются их значения, которые характеризуют физиологическое состояние посевов сельскохозяйственных культур в оптимальных и стрессовых условиях. Затем осуществляется сравнительный анализ оперативно полученных величин с хранимыми в БЗ диапазонами значений оптимального и угнетённого состояния растений и определяются зоны неоднородности на конкретном поле (Матвеевко и другие, 2020).

Для формирования указанной БЗ на опытных полях Меньковского полигона Агрофизического института, начиная с 2019 года, в полевых условиях ведутся запланированные исследования, в ходе которых на тестовых площадках искусственно созданы стрессовые условия для растений озимой, яровой пшеницы и ячменя, проявляющиеся из-за дефицита азота.

Методика. На поле № 9 осенью 2019 было посеяно 14 га озимой пшеницы. На полях №№ 4 и 26 весной 2020 года были посеяны яровой ячмень и пшеница на площади 16 и 10 га соответственно. До размещения опытов изучаемые поля были обследованы с помощью мобильного комплекса «умный плуг», на

основании проведенных измерений получены соответствующие картосхемы пространственного распределения измеряемых показателей.

С использованием квадрокоптера «Геоскан-401» получены аэрофотоснимки обследуемых полей с разрешением 1–2 см. При помощи специализированного программного обеспечения Agisoft PhotoScan из мозаики полученных изображений автоматически был построен ортофотоплан в формате Geotiff, содержащий электронные контуры полей, на которых планировалось проведение исследований, с топографической привязкой. На полученные контуры в программе ГИС-АФИ накладывалась сетка, разбивающая исследуемое поле на элементарные участки. Размеры элементарного участка задаются с учетом рекомендаций Агрохимслужбы РФ. Для контура поля № 9 был выбран размер элементарного участка 2 га, для контуров полей №№ 4 и 26 – 3 га.

С элементарных участков были отобраны объединенные пробы почвенных образцов. Отбор проводился в соответствии со стандартными методиками, с геоинформационной привязкой к координатам, которая осуществлялась с помощью GPS/ГЛОНАСС-приемника Trimble AgGPS 442, программного обеспечения разработки АФИ (ГИС АФИ) и полевого ноутбука Panasonic CF19. Точность координатной привязки при отборе составляла 0,3–0,4 метра. На основании полученных данных в программе SAGA GIS были построены пространственно-ориентированные картограммы по каждому определяемому показателю.

Агрохимический анализ почвы показал достаточное содержание подвижного фосфора и дефицит подвижного калия на всех исследуемых полях. Поле № 9 было разделено на два варианта: на варианте № 1 (элементарные участки 1–5) были внесены калийные удобрения (в форме хлористого калия) по результатам агрохимического обследования, на варианте № 2 (элементарные участки 6–16) – калийные удобрения не вносились, таким образом, здесь был искусственно сохранен дефицит содержания калия в почве. Внесение азотных удобрений в основном посеве озимой пшеницы было выполнено весной 2020 года.

На каждой из посеянных зерновых культур сразу после посева закладывались тестовые площадки, квадратные участки поля площадью 100 м² с различными дозами азотных удобрений, обеспечивающими заданную внутрислоевую изменчивость по азотному питанию сельскохозяйственных культур. Азотные удобрения вносились в диапазоне от 0 до 200 кг д.в./га с шагом 40 кг для культур озимой и яровой пшеницы, и от 0 до 150 кг д.в./га с шагом 30 кг для ячменя (от дефицита азота до оптимального количества для формирования урожайности зерновых на уровне 45–55 ц/га). Тестовые площадки предназначены для получения эталонных изображений посева с растениями, испытывающими стресс, связанный с недостатком азотного питания на фоне оптимального обеспечения макроэлементами (фосфор и калий) и на фоне дефицита калия. В дальнейшем эталонные изображения будут использованы для автоматического выделения однородных зон посева на основе различных вегетационных индексов, полученных в регулируемых условиях, для целей точного земледелия.

В посевах озимой пшеницы на каждом из вариантов №№ 1, 2 было заложено по шесть площадок, в почву которых сразу после посева была внесена аммиачная селитра из расчета 40 кг д.в./га (за исключением площадок с нулевым содержанием). Внесение азотных удобрений свыше этой дозы в осенний период может привести к их незапланированным потерям (вымывание и т.п.). Остальное количество азота на тестовых площадках было внесено в виде подкормок в весенне-летний период 2020 года в фазы кущения – трубкования (ВВСН 25-27 и ВВСН 30) и появления флагового листа (ВВСН 37).

В посевах яровой пшеницы и ячменя закладывали по две полосы из шести тестовых площадок. На первых полосках обеих культур выполнялось два внесения азота в виде аммиачной селитры: при посеве 2/3 дозы азота и подкормка в конце фазы кущения (ВВСН 27-29) – 1/3 дозы азота. На вторых полосках обеих культур при посеве вносили азофоску (2/3 дозы азота), при подкормке – аммиачную селитру (1/3 дозы азота). В результате на первых полосках растения были обеспечены в различной степени только азотом, на

второй – комплексным сочетанием элементов (азот – калий – фосфор). Всего в итоге было заложено 36 тестовых площадок, по 12 на каждой из трех зерновых культур.

Сбор опорной информации. На основе разработанной структуры БЗ были определены требования к пространственному, спектральному и временному разрешению ДДЗ (полученных с космических аппаратов и беспилотных летательных аппаратов). Разработана методика их предварительной обработки, включая калибровку и валидацию снимков по опорной информации ранее созданного в АФИ программного обеспечения. В течение вегетационного сезона 2000 года раз в неделю для дистанционной оценки динамики развития и состояния возделываемых культур осуществлялась аэрофотосъемка опытных полей с тестовыми площадками с помощью квадрокоптера Геоскан 401, оснащенного мультиспектральной камерой RedEdge-MX компании Micasense (США), с последующим анализом полученных данных.

В основные фенологические фазы развития зерновых культур на тестовых площадках проводился отбор образцов растений (не менее 12 штук с каждой тестовой площадки) для последующего измерения индексов отражения от поверхности растений с помощью миниатюрного оптоволоконного спектрометра HR 2000 фирмы Ocean Optics (США). Прибор обеспечивает оптическое разрешение 0,065 нм в диапазоне от 300 до 1000 нм с шагом 0,3 нм и автоматическую обработку измерительной информации специализированным программным наполнением SpectraSuite. Измерения позволили получать оперативные значения оптических характеристик в различных спектральных диапазонах, соответствующие заданным условиям обеспеченности растений азотом на тестовых площадках, а также проверить количественные значения индексов отражения, полученные ранее в моделируемой лабораторной среде.

Следующим шагом проводимых исследований будет разработка программного модуля, автоматизирующего процесс формирования базы знаний, содержащей сведения о спектральных диапазонах, формулах расчета оптических критериев и соответствующих показателях, характеризующих физиологическое

состояние изучаемых зерновых культур при оптимальных условиях и дефиците азота. Программная реализация базового алгоритма, являющаяся основной задачей исследований, позволит в автоматическом режиме на основе анализа мультиспектральных аэроснимков посевов, оперативного измерения спектров отражения от поверхности листьев в ходе вегетации и их сравнительной оценки выявлять внутриполевую изменчивость физиологического состояния посевов изучаемых сельскохозяйственных культур с различным уровнем азотного обеспечения растений.

Список литературы

1. Якушев В.П., Дубенок Н.Н., Лупян Е.А. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования Земли для сельского хозяйства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 11–23. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-11-23.
2. Блохина С.Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 10–16.
3. Канаш Е.В., Якушев В.П., Русаков Д.В., Блохина С.Ю., Кравцова А.В. Оптические характеристики листьев яровой пшеницы при дефиците азота и воды // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 4. С. 9–12.
4. Якушев В.П., Матвеев Д.А., Петрушин А.Ф., Блохина С.Ю., Канаш Е.В., Якушев В.В. Новый метод количественной оценки внутриполевой изменчивости по оптическим характеристикам посевов для точного земледелия // Вестник сельскохозяйственных наук. 2020. № 2. С. 4–9.
5. Матвеев Д. А., Воропаев В. В., Якушев В. В., Блохин Ю. И., Блохина С. Ю., Митрофанов Е. П., Петрушин А. Ф. Состояние и перспективы создания новых методов количественной оценки внутриполевой изменчивости в точном земледелии // Агрофизика. 2020. № 1. С. 59–70.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ДАТАМ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ

И. М. Михайленко, В. Н. Тимошин

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

Введение

Организационные задачи управления агротехнологиями в наибольшей степени нуждаются в современных достижениях цифровизации и интеллектуализации. Здесь на основе большого объема информации от источников разной физической природы менеджменту хозяйств и специалистам приходится принимать управляющие решения, ошибки, в принятии которых могут привести к большим потерям урожая, его качества или к перерасходу затрачиваемых ресурсов. Особенно остро эта проблема ощущается при выборе оптимальных сроков уборки урожая зерновых культур. Она обусловлена сложностью протекающих процессов формирования урожая зерновых и большим объемом обрабатываемой информации, а также большими площадями и большим числом полей, занятых этими культурами. Так уборку озимой пшеницы следует начинать, когда влажность зерна составит не менее 20%. Здесь задержка в сроках уборки в 3–4 дня может привести к потерям до половины урожая. Яровую пшеницу убирают в одну или две фазы. Однофазную уборку проводят в начале полной спелости при влажности зерна 18–19%, работу завершают в течение не более пяти дней. В противном случае возможен перестой посевов, который ухудшает характеристики урожая: снижается стекловидность, масса 1000 зерен, ухудшаются мукомольные, хлебопекарные и посевные свойства. Двухфазную уборку производят в случае большой засоренности посевов или их залегания. Ее начинают в середине восковой спелости, когда влажность зерна составляет от 25 до 35%. Ситуация существенно усложняется при одновременном созревании многих полей, когда проблемы с принятием решений по дате уборки может испытывать даже самый опытный агроном.

Большое практическое значение для планирования уборочных работ имеют особенности прохождения фаз развития посева зерновых. Продолжительность фаз развития и характер прохождения очень изменчивы и характеризуются не только видовыми и сортовыми особенностями культуры, но

и в значительной степени внешними природными условиями. Так, продолжительность фазы восковой спелости в южных и степных районах в жаркую и сухую погоду может сокращаться до 3–4 дней, а в увлажненных районах продолжается до 20 дней. После полного созревания начинается период перезревания зерна. В этот период зерно снижает свои биологические, технологические, биохимические, физико-механические, посевные и пищевые качества, легко осыпается, что в итоге приводит к резкому снижению биологического урожая.

Прямое комбайнирование зерновых культур возможно при полном созревании зерна. Это обусловлено физико-механическими свойствами зерна, которое при полном созревании твердеет, его форма и размер становятся характерными для данной культуры и сорта. Влажность зерна в фазе полного созревания находится в пределах 20–17% и ниже. При полном созревании накопление сухого вещества в зерне завершается. В дальнейшем в течение весьма ограниченного периода масса зерна остается постоянной, а затем уменьшается, так как под действием внешних условий зерно теряет часть питательных веществ, то есть наступает так называемый период перезрелости зерна, или перестоя хлебной массы на корню. В этот период зерно снижает свои товарные, биологические, мукомольные, физико-механические качества, легко осыпается, а при дождливой погоде прорастает в колосе. При длительном перестое существенно уменьшаются как урожай зерна, так и его качество. На величину потерь зерна при затягивании сроков уборки влияют культура, сорт, природно-климатические условия в период уборки или зона выращивания зерновых культур.

Оптимальные технологии предусматривают выбор таких операций и техники, которые обеспечивают минимум потерь в отношении максимального урожая. Преждевременные или поздние сроки выполнения отдельных видов работ приводят к недобору или значительным потерям урожая. Обобщающая зависимость потерь урожая от продолжительности уборки урожая и влажности зерна в колосе показана на рисунке 1.

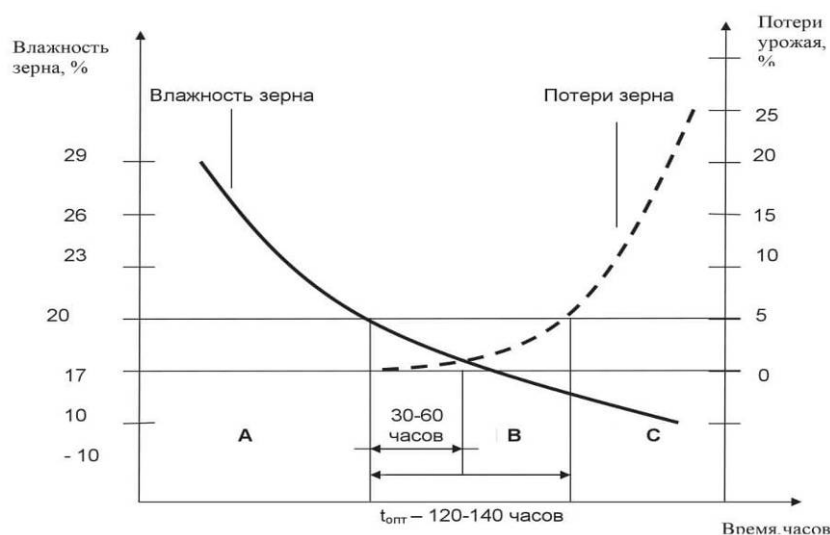


Рис. 1. Обобщающая зависимость потерь зерна от продолжительности уборки и влажности зерна в колосе:

А – период раздельного комбайнирования; В – период прямого комбайнирования с минимальными потерями; С – период прямого комбайнирования с растущими потерями

Исследованиями, проведенными в Российской Федерации и за рубежом, доказано, что при уборке зерновых потери могут достигать 30% от выращенного урожая, и являются главным образом следствием ошибок в выборе сроков уборки, особенностью уборки полегших и засоренных хлебных массивов, технологическим несовершенством уборочной техники. Поэтому выбор дат и сроков уборки для выбранной уборочной технологии является чрезвычайно актуальной проблемой, имеющей большое народнохозяйственное значение.

Методика решения задачи

Отправным пунктом в разработке любой системы управления, включая и системы поддержки принятия решений (СППР), является обоснование вида и формы критерия оптимальности. Наличие критерия позволяет обосновать вид и форму используемых математических моделей, а также алгоритм минимизации выбранного критерия. Исходя из смысла решаемой задачи, целью управления в СППР является минимизация возможных потерь зерна за счет выбора адекватной даты уборки.

Дата и сроки уборки зерновых влияют на величину агробиологических потерь и на потери зерна от осыпания. Для оценивания этих потерь и формализации критерия оптимальности необходимо выбрать соответствующие параметры состояния посева зерновых и математические модели, позволяющие

их прогнозировать. При этом интервал времени прогнозирования включает в себя периоды восковой и полной спелости зерна.

Для интервала времени, включающий в себя фенофазы восковой спелости и полная спелости, модель динамики параметров структуры биомассы посева имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t)_1 \\ x(t)_2 \\ x(t)_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} & b_{35} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_N(t) \\ v_K(t) \\ v_P(t) \\ v_{Mg}(t) \\ v_5(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ f_3(t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$t \in (T_{12}, T_{13}), \quad x_1(T_{12}) = x_{10}, \quad x_2(T_{12}) = x_{20}, \quad x_3(T_{12}) = x_{30},$$

где параметрами состояния являются: x_1 – средняя по площади поля плотность биомассы посева, ц га⁻¹; x_2 – средняя по площади поля плотность сырой массы посева, ц га⁻¹; x_3 – средняя по площади поля плотность массы колосьев (урожая), ц га⁻¹; внешними возмущениями в обоих блоках являются f_1 – среднесуточная температура воздушной среды, °С; f_2 – среднесуточный уровень радиации, Вт (м²·час.)⁻¹; f_3 – среднесуточная относительная влажность приземного слоя воздуха, %; параметры химического состояния почвы: v_N – содержание азота в почве, v_K – содержание калия в почве, v_P – содержание фосфора в почве; v_{Mg} – содержание магния в почве; v_5 – влагозапас в почве, мм.

Каноническая символьная векторно-матричная форма модели (1)

$$\dot{X} = AX(t) + BV(t) + CF(t), \quad (2)$$

$$t \in (T_{12}, T_{13}), \quad X(T_{12}) = X_0.$$

На рис. 2 представлены графики процесса идентификации модели (2), согласно которым ошибка прогнозирования укладывается в допуск $\pm 5\%$.

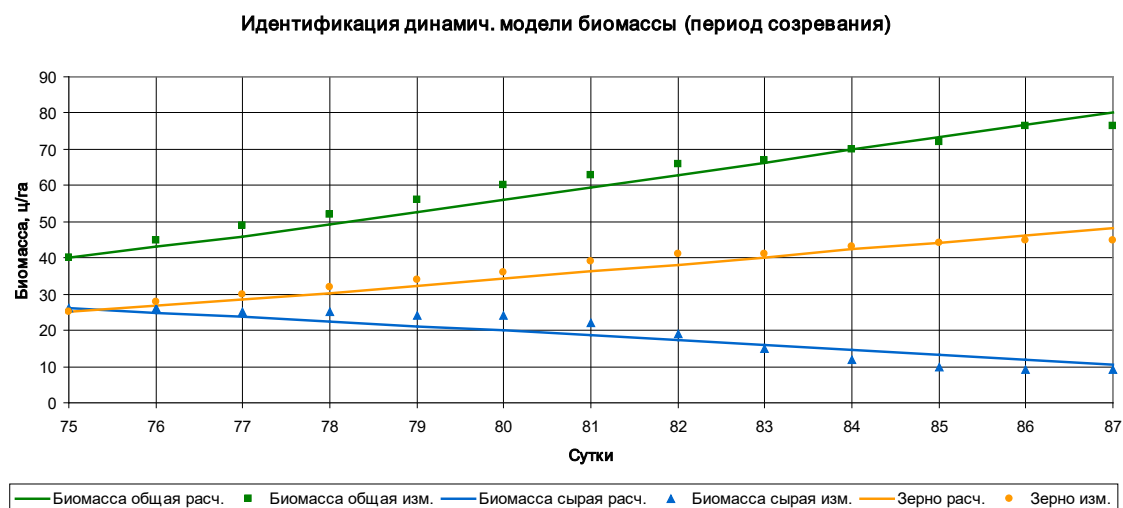


Рис. 2. Процесс идентификации модели параметров биомассы посева

Анализ обобщающего графика потерь на рис. 1 показывает, что вся область допустимых значений влажности зерна разделяется на три технологические зоны, занимающие определенные периоды времени. Первый период времени включает в себя фазу восковой спелости, в которой влажность зерна снижается до 20%. Для этой области может использоваться двухфазная уборка, в которой уровень потерь зерна зависит недополучения биологического урожая, вследствие его неполного созревания и от осыпания зерна, зависящего от времени подбора валков. Второй период времени включает в себя фазу полного созревания зерна, когда его влажность находится в пределах 20–17% и ниже. В этой области уровень потерь определяется осыпанием и зависит от влажности зерна и времени уборки. Третья область, где влажность зерна ниже 12%, характеризуется возрастающими потерями, в большей степени зависящими от времени уборки.

Для прогнозирования потерь в первой области необходимо дополнительное исследование по формированию модели параметров состояния валков, поэтому здесь этот режим не рассматривается, а используются только прогноз границы его существования.

Для второй области рассматривается модель потерь зерна при уборке, зависящих от времени и влажности зерна

$$\begin{aligned} \pi_2(\tau_2) &= a_0 + a_1\tau_2 + a_2\tau_2^2 + a_3y(\tau_2) + a_4y^2(\tau_2), \\ y(\tau_2) &= \frac{x_2(\tau_2)}{x_1(\tau_2)}100\%, \tau_2 = t - t_2, \end{aligned} \quad (3)$$

где: $\tau = t - t_2$ – относительное время во второй области, t_2 – время наступления второй области.

На рис. 3 представлены результаты идентификации модели (3) по экспериментальным данным, где ошибка моделирования не превышает допуск $\pm 2\%$.



Рис. 3. Результаты идентификации модели потерь при влажности зерна меньше 20%

Для третьей области принимается следующая модель потерь, зависящая только от относительного времени $\tau_3 = t - t_3$.

$$\pi_3(\tau_3) = a_0 + a_1\tau_3 + a_2\tau_3^2 + a_3y(\tau_2), \quad (4)$$

t_3 – время наступления третьей области.

На рис. 4 представлены результаты идентификации модели потерь (4), где ошибка моделирования укладывается в допуск $\pm 2\%$.

На рис. 5 представлен сводный график потерь при уборке на фоне динамики влажности зерна. Из него видно, что после снижения влажности зерна величины 20%, потери быстро возрастают, что требует ускорения процесса уборки. Имея в своем распоряжении динамическую модель параметров

биомассы посева (1), (2) и модели возможных потерь (3), (4), можно задаваясь допустимым уровнем потерь спрогнозировать допустимые сроки уборки.

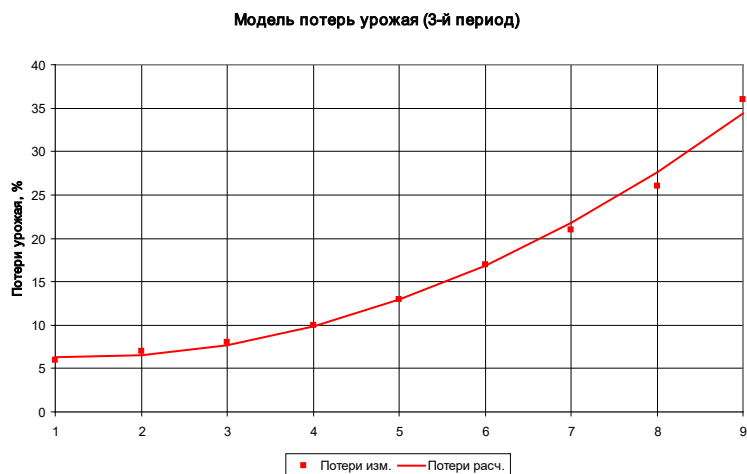


Рис. 4. Результаты идентификации модели потерь при влажности зерна больше 20%.

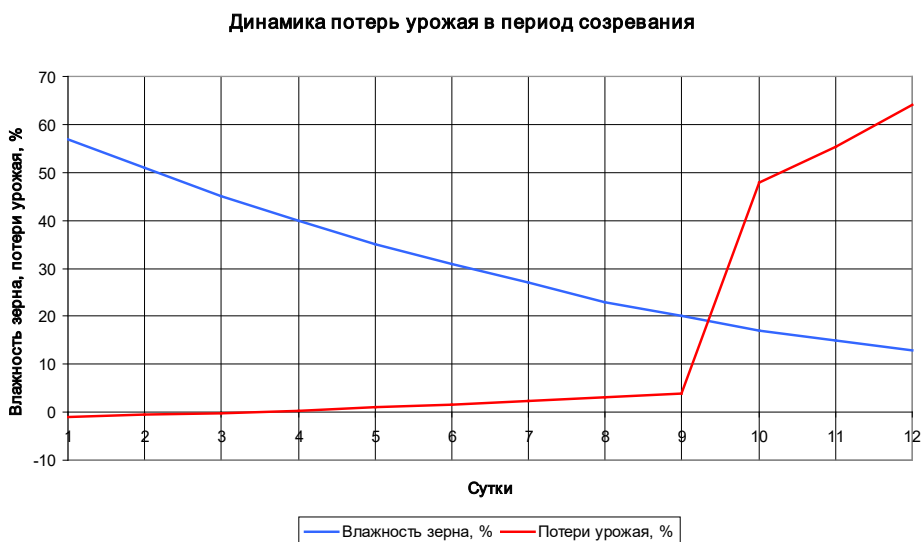


Рис. 5. Сводный график потерь при уборке на фоне изменения влажности зерна

Используемые источники:

1. <https://fermer.blog/bok/zlaki/pshenica/17564-uborka-ozimoy-i-yarovoy-pshenicy.html>.
2. <https://agronom.expert/posadka/ogorod/zlaki/pshenitsa/kak-i-kogda-proishodit-uborka.html>.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ И ОЦЕНКЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Романчук Габриела

Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений, Республика Молдова

Информационные технологии являются ключевым элементом сохранения генетических ресурсов растений (ГРР). По этой причине значительные усилия были направлены на развитие ReGen - информационной системы ГРР в Республике Молдова. ReGen - это реляционная информационная система. Система содержит паспортные данные, а также данные о оценки и характеристики коллекций зародышевой плазмы, в которых используется общий уникальный идентификатор - национальный регистрационный номер. В настоящее время в паспортной базе описано 6015 образцов. В ReGen только 4% являются данными оценки / характеристики. Оценочные данные существенно увеличивают ценность коллекций ГРР для селекционеров и других пользователей. Эта база данных облегчает не только легкий доступ для пользователей, но и обмен информацией с другими генными банками. Принцип обмена данными - стандартизация существующей информации. В этом контексте набор данных (около 6015 образцов) по ГРР из Молдовы был представлен в EURISCO и WIEWS.

INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE MANAGEMENT AND ASSESSMENT OF PLANT GENETIC RESOURCES

Romanchuk Gabriela

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of Republic of Moldova
(IGPPP), Chişinău*

Information technology in the management and evaluation of plant genetic resources. Romanciuc Gabriela. Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Republic of Moldova.

Information technology is a key element of the conservation and exploitation of plant genetic resources (PGR). For this reason, considerable effort into the development of ReGen - information system of PGR in Republic of Moldova, based on the Data Base Management System (DBMS), Visual Fox Pro 9.0, has been devoted. ReGen is a relational information system, composed of multiple tables, that hold specific information (data), connected by special fields. The system contains passport data, evaluation and characterization data of the germplasm collections, which use a common unique identifier – the national accession number. At present 6015 accessions are described in passport database. In ReGen only 4% are the evaluation/ characterization data. Evaluation data substantially increases the value of PGR collections for breeders and other users. This database facilitates not only easy access for users, but also the exchange of information with other genebanks. The principle for data exchange is standardization of existing information. In this context, a set of data (about 6015 accessions) on PGR from Moldova were reported in EURISCO and WIEWS.

Введение

Одним из основных факторов влияния научно-технического прогресса на все сферы деятельности человека является широкое использование новых информационных технологий.

Толковый словарь по информатике дает следующее определение информационной технологии. Информационная технология – это совокупность методов, производственных процессов и программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, вывод и распространение информации для снижения трудоемкости процессов использования информационных ресурсов, повышения их надежности и оперативности [Инф. Техн., с. 14].

Современные информационные технологии, которые обеспечивают разные виды деятельности основаны на комплексном использовании различных видов информационных процессов в рамках единого технического комплекса на базе компьютерной техники.

Среди множественных сфер, в которых информационные технологии играют значительную роль, особое место занимает сфера управления генетических банков растений. Сфера применения новых информационных технологий на базе персональных компьютеров и развитых средств коммуникации весьма обширна. Она включает различные аспекты — от обеспечения простейших функций сохранения информации о коллекциях генбанка, до системного анализа и поддержки сложных задач принятия решений.

Под влиянием новых информационных технологий происходят изменения в процессе управления коллекциями генетических ресурсов растений в генбанках, необходимые для разработки рекомендаций и принятия соответствующих решений по их сохранению и использованию.

Во всем мире, наблюдается значительный интерес к использованию информационных технологий для регистрации и изучения биоразнообразия, часть которой являются генетические ресурсы растений (ГРР).

В Международном договоре о генетических ресурсах растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства, в Статье 2, принятый 3 ноября 2001 года (вступил в силу в 2004 году), определяются генетические ресурсы растений как любой генетический материал растительного происхождения, представляющий фактическую или потенциальную ценность для производства продовольствия, ведения сельского хозяйства и иной деятельности [МЕЖД. ДОГ., стр. 3]

Генетические ресурсы культурных растений (ГРР) являются одним из базовых компонентов, определяющих продовольственную и экологическую безопасность каждого суверенного государства. Особую актуальность и стратегическую значимость в настоящее время они приобрели в связи с ростом генетической эрозии, исчезновением с лица Земли сортов, видов и родов сельскохозяйственных растений, а также сокращение числа и сортимента возделываемых культур. Поэтому на современном этапе проблемы сохранения и рационального использования ГРР являются государственными, стратегически важными для каждой страны [DZIUBENCO, p. 3].

В данном контексте, в международных стратегиях по сохранения биоразнообразия важная роль отводится созданию информационной системы по генетическим ресурсам. Роль информации о сохранении и устойчивом использовании генетических ресурсов растений отмечена в различных глобальных конвенциях, таких как *Конвенция о биологическом разнообразии* (1992 г.) – статья 17: Содействовать обмену информацией, имеющей отношение к сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия [...]; *Глобальный план действий* (ГПД I-1996 и ГПД II-2011) – Приоритетные действия 17 и 15: цели данных приоритетных действий являются: содействие улучшению управления генетических ресурсах растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства (ГРРПСХ) и их использования за счет облегчения доступа к качественной текущей информации и обмена ею, развитие и укрепление национальных информационных систем, включая информационные системы на уровне образцов и поддержки участия стран в

глобальных информационных системах, повышение использования региональных и глобальных информационных систем за счет постоянного совершенствования взаимодействий между генными банками и пользователями, укрепление обмена и использование информации, а также устойчивость действующих информационных систем за счет содействия совместимости работы с наборами данных путем введения и принятия общих идентификаторов; *Международный договор о генетических ресурсах растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства* – МДГРПСХ (2001 г.) – Статья 17: Договаривающиеся стороны будут сотрудничать в разработке и укреплении глобальной информационной системы для облегчения обмена информацией ... связанной с ГРПСХ.

Сохранение биологического разнообразия растений на современном этапе во многом определяется наличием информационной системы, включающая локальные Системы Управления Базами Данных (СУДБ) предоставляющие информацию о процессах консервации гермоплазмы растений в целостности. Совокупность данных может быть эффективно использована для координации деятельности генбанков и для научных исследований в области мобилизации и сохранения биологического разнообразия растений.

Основные информационно-технологические потребности генбанков включают: информационно-поисковые системы, обеспечивающие доступ к сведениям о коллекциях генетических ресурсов растений на международном уровне, осуществления информационного обмена, локальные информационные системы регистрации индивидуальных коллекций, используемые в пределах научно-исследовательских институтов. Такие системы требуют внедрения определенных стандартов по хранению информации, а также постоянную актуализацию имеющих данных.

В мире ведется большая работа по созданию национальных и глобальных информационных банков генетических ресурсов растений.

На национальном уровне представляют интерес следующие информационные системы: PGRDEU – Национальная инвентаризация

генетических ресурсов растений, Германия (www.genres.de/pgrdeu), Японский национальный институт агробиологических наук (NIAS) Genebank (www.gene.affrc.go.jp/database_en.php), SESTO - Информационная система генбанка Скандинавии (<https://sesto.nordgen.org/>); Информационная сеть по ресурсам зародышевой плазмы (USDA-GRIN – <https://www.ars-grin.gov/>), Национальная инвентаризация генетических ресурсов растений для Продовольствие и сельское хозяйство, Австрия (www.genbank.at) и др.

На региональном уровне, информационные системы как EURISCO – европейский поисковый каталог по ГРППСХ (<https://eurisco.ipk-gatersleben.de/>), который предоставляет информацию о более чем 2 миллионах образцов культурных растений и их диких сородичей, сохраненных *ex situ*. EURISCO основан на сети национальных инвентаризаций 43 стран-членов и представляет собой важное усилие по сохранению мирового агробиологического разнообразия путем предоставления информации о большом генетическом разнообразии [4]. ECPGR – Европейская совместная программа по ГРП с различными рабочими группами (<https://www.ecpgr.cgiar.org/>), SINGER – общесистемная информационная система по ГРП в 11 центрах Консультативной группы по международным сельскохозяйственным исследованиям (CGIAR) и Азиатского центра исследований и разработок овощей (AVRDC) (<http://www.singer.cgiar.org/>); Сообщества по вопросам развития стран юга Африки (САДК) (<https://www.sadc.int/information-services>) играют значительную роль в сохранении биологического разнообразия растений.

На глобальном уровне, с 2008 года осуществляется проект GENESYS (www.genesys-pgr.org) – всемирный информационный центр ГРППСХ. Он объединяет следующие информационные ресурсы: SINGER, EURISCO, GRIN. На сегодняшний день, GENESYS содержит данные об 4100000 образцах [5]. Международными организациями и правительственными организациями США разрабатывается международный банк данных генетических ресурсов растений GRIN-Global (<https://www.grin-global.org/>). А также для специалистов в области

документирования ГРР, очень популярен Глобальный информационный фонд по биоразнообразию GBIF (<https://www.gbif.org/>).

Очень важно отметить, в данном контексте, роль Всемирной системы информации и раннего предупреждения по проблемам генетических ресурсов растений, FAO – WIEWS (<http://www.fao.org/wiews/>).

Полные, доступные для широких кругов пользователей базы данных и информационно-поисковые системы облегчают многофункциональный анализ и позволяют оперативно получать и обрабатывать различные виды информации по ГРР.

Информационная система генетических ресурсов растений Республики Молдова *ReGen*, была разработана в 2002 году и включает три основных функциональных блока: консервации *ex situ*, *in situ* и *on farm*. Кроме того, данная система позволяет осуществлять ввод и хранение информации о паспортных и оценочных данных о генетических ресурсах растений.

Материалы и методы

Объектами данного исследования служили: база данных *ReGen*; данные о национальных коллекциях генетических ресурсов растений и сохраняемых в них образцах; результаты экспедиционных обследований мест обитания видов и мест сбора образцов на территории республики; сведения об институтах держателей коллекций, а также о донорах. В работе были использованы полевые и посевные журналы, экспедиционные листы и отчеты; каталоги по культурам, протоколы первичной регистрации.

Единая информационная система генетических ресурсов растений Республики Молдова *ReGen* разработана в Лаборатории генетических ресурсов растений, Института Генетики, Физиологии и Защиты Растений и предназначена для эффективного хранения и управления данными о генофонде культурных растений и их диких родичей. При реализации *ReGen* была использована система управления базами данных (СУБД) «Visual Fox Pro 9.0» для операционной системы Windows 2000 и Windows XP. Хранимая информация в БД может быть извлечена в виде отчетов или таблиц.

Основные действия, которые могут выполняться с помощью данной СУБД, это создание структуры базы данных; заполнение базы данных информацией; изменение (редактирование) структуры и содержания базы данных; поиск информации в БД; сортировка данных.

Для хранения информации об коллекциях генетических ресурсов растений используется реляционная база данных, состоящая из набора взаимосвязанных таблиц. Информация об образце в этой базе соответствует рекомендациям FAO и Bioversity International и представлена в формате так называемых дескрипторов паспортных данных растений (Multi-crop passport descriptors MCPD) [FAO MCPD]. Она включает номер образца в коллекции; таксономическое описание; страна происхождения образца; дата включения в коллекцию; название растения на английском языке; код института, предоставивший образец в коллекцию; код селекционного института, создавший образец; страна, из которой получен материал; данные о предках; биологический статус образца; тип хранения зародышевой плазмы и др. Каждый образец имеет уникальный идентификационный номер.

Для оценочных данных использованы международные дескрипторы для каждой культуры в отдельности, разработанные Bioversity International.

Подготовленные паспортные данные национальной коллекции в виде Excel-таблицы, были импортированы в EURISCO (Европейский Информационно-Поисковый Web-Каталог европейских коллекций растительного разнообразия, сохраняемых *ex situ*) и доступны в *on line* режиме на сайте: <http://eurisco.ecpgr.org/>, а также в ВСИПП - Всемирная система информации и раннего предупреждения по проблемам генетических ресурсов растений (WIEWS – FAO), на сайте <http://www.fao.org/wiews/data/ex-situ-sdg-251/overview/ru/>

Результаты и обсуждения

Создание информационной системы *ReGen* стало возможным благодаря детальному анализу структур различных баз данных по разнообразию растений, опыту европейских и международных генных банков, а также консультациям с

европейскими специалистами в области документирования генетических ресурсов.

Записи в базе данных представлены образцами, принадлежащими определенным видам, сортам, популяциям, линиям, гибридам сельскохозяйственных культур, формам спонтанной флоры, генетическому материалу, полученному в результате обмена или предоставленный держателями индивидуальных коллекций и др. В соответствии с видом предпринятой деятельности - сбором, оценкой, характеристикой и сохранением, можно просматривать, соответственно, паспортные данные, описательную и оценочную информацию об оригинальных образцах, находящихся у держателей коллекций генетических ресурсов растений на территории республики

База данных коллекции *ex situ* генетических ресурсов растений Республики Молдова насчитывает 6480 коллекционных образцов, включает следующие категории сельскохозяйственных культур/растений и их диких родичей: коллекции зерновых, зернобобовых, масличных, культур; коллекции овощных; лекарственных и пряно ароматических растений; коллекции плодовых, ягодных, культур и винограда.

В БД включена информация о ГРП получена от некоторых научных институтов держателей *ex situ* коллекций на национальном уровне. В частности, речь идёт о паспортных данных в соответствии с MCPD.

Характеристика и оценка ГРП производится с использованием дескрипторов культур IPGRI (Biodiversity International) или UPOV. Большая часть информации документирована и внесена в рабочих журналах кураторов коллекций, и только небольшая часть этих данных была зарегистрирована в компьютерной форме. В данном случае речь идёт о коллекции перца (*Capsicum annuum* L.) и баклажана (*Solanum melongena* L.).

Республика Молдова является частью действующих международных информационных системах по ГРП, такие как EURISCO, WIEWS.

В EURISCO были импортированы данные о 6015 коллекционных образцах сохраняемых *ex situ* на национальном уровне. Эти же данные были отправлены в

информационную систему WIEWS, в соответствии с текущими международными требованиями.

Осуществлено научное сотрудничество с ФАО, в рамках проекта TCP/MOL/3504 «Support to the development of National Program for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture in Moldova» в 2017, на основе которого был разработан национальный механизм обмена информацией по генетическим ресурсам растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства (NISM) на период 2011–2014. Информация об 1443 образцах из *ex situ* коллекциях была опубликована в отчётных формах NISM.

В соответствии с Целями в области устойчивого развития (ЦУР) на период до 2030 года, в частности с Показателем 2.5.1a – *Количество генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства, которые хранятся на специальных объектах среднесрочного или долгосрочного хранения*, Республика Молдова отправила данные о ГРР страны, которые являются частью ИС *ReGen*.

Выводы

Национальная информационная система по ГРР Республики Молдова – *ReGen* была создана для эффективного управления информацией о ГРР страны. Данная информация используется в различных исследовательских программах, а также для обмена и сотрудничества с региональными и международными организациями в сфере консервации генетических ресурсов.

Библиографический список

1. Информационные технологии управления: Учебное пособие / Под ред. Ю.М. Черкасова. М.: ИНФРА-М, 2001. 216 с. (Серия «Высшее образование»).
2. Международный договор о генетических ресурсах растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. 3 ноября 2001 <http://www.fao.org/3/a-i0510r.pdf>
3. Дзюбенко Н.И. Генетические ресурсы культурных растений – основа продовольственной и экологической безопасности России. В: «Вестник Российской Академии Наук», том 85, № 1 201. С. 3–9
4. <https://eurisco.ipk-gatersleben.de/apex/f?p=103:1>
5. <https://www.genesys-pgr.org/>
6. FAO/Bioversity multi-crop passport descriptors (MCPD), version 2.1, updated 2017-11-13 <https://eurisco.ipk-gatersleben.de/apex/f?p=103:24>.
7. <http://www.fao.org/wiews/data/ex-situ-sdg-251/overview/ru/>

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (НА ПРИМЕРЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА)

А. С. Степанов

*ФГБУН ХФИЦ ДВО РАН Дальневосточный научно-исследовательский
институт сельского хозяйства (ДВНИИСХ)*

В статье описано использование регрессионной модели на основе данных дистанционного зондирования Земли для прогнозирования урожайности сои, являющейся доминирующей культурой Дальнего Востока, Показано, что разработанная модель с высокой точностью позволяет строить прогноз урожайности сои, начиная с 27–28 календарной недели изучаемого года.

MODELING AND PREDICTING CROP YIELDS USING REMOTE SENSING DATA (USING THE EXAMPLE OF THE FAR EAST)

Alexey Stepanov

Far Eastern Agriculture Research Institute

The article describes the use of a regression model based on remote sensing data to predict the yield of soybean, which is the dominant crop of the Far East, at the regional level. As independent variables of the regression model, we studied various indicators that characterize the climate and vegetation status of the Khabarovsk municipal district, obtained using the "Vega-Science" service. Finally, the model uses the maximum weekly Normalized difference vegetation index (NDVI) composites for arable land in the region and the number of days in a calendar year with average daily temperatures $T > 10^{\circ}\text{C}$ before reaching the maximum NDVI values. It is established that the quality of the regression model for estimating crop productivity at the regional level when using the area's arable land mask depends on the share of this crop in the area's sown area. For soybeans, which make up about 60% of the sown area of the Khabarovsk region, the model error was at the level of 6.5%. The use of such a model for crops that are not the dominant crop in the region is not justified: the root-mean-square error (RMSE) values for estimating the yield of oats and wheat (about 10% of the total area of arable land in the region) were almost twice as bad as for soybeans (0.23-0.24 t/ha and 0.12 t/ha, respectively). R^2 values for oats and wheat were also quite low: 0.33 and 0.39. At the same time, the value of R^2 for soybean was 0.66, and mean absolute percentage error (MAPE – 6.5%). The resulting regression equation, where the independent variables included NDVImax and the number of days with an average daily $T < 10^{\circ}\text{C}$ from the beginning of the year to 30th calendar weeks, can be used for predicting the yield of the Far Eastern region from 27–28th calendar weeks.

В последнее время в Российской Федерации большое значение уделяется развитию агропромышленного комплекса, особенно растениеводству. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на региональном уровне является важной задачей, обусловленной как необходимостью

планирования посевных площадей культур, так и оценкой рисков при выполнении контрактных обязательств. Ранее при оценке урожайности на уровне муниципальных районов (областей) использовался либо трендовый метод, либо метод года-аналога, однако в настоящее время широкое распространение приобретают подходы, связанные с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (Бережа, Страшная, Лупян, 2015; Панеш, Цалов, 2017). Подобные подходы основаны на взаимосвязи урожайности культур и значений вегетационных индексов, рассчитанных по спутниковым данным (Mkhabela et al., 2011; Спивак и др., 2015). В частности, одним из самых популярных показателей, характеризующих развитие зеленой массы растений во время вегетации, является Normalized difference vegetation index (NDVI). Для оценки урожайности чаще всего используются регрессионные модели, где в качестве независимых переменных рассматриваются максимальное значение NDVI исследуемой территории в календарном году, а также климатические характеристики (Iizumi, Shin, Kim, 2018). При этом в регрессионные модели зачастую входят не только индивидуальные метеорологические показатели, такие как температура или сумма осадков, но и интегральные климатические характеристики (Балабайкин, Елкин, 2014), например, гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК).

В целом, использование спутниковых данных для моделирования урожайности способствует оперативной оценке этого показателя в ходе вегетационного сезона, однако для решения практической задачи – прогнозирования урожайности – предлагаемые модели зачастую неприменимы, так как предполагают расчет климатических характеристик, базирующихся на данных всего календарного года. Таким образом, важным именно с практической точки зрения является разработка подхода для раннего прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на региональном уровне на основе данных ДЗЗ и климатических характеристик, рассчитанных на момент формирования прогноза.

Для построения моделей в качестве зависимых переменных рассматривались средние значения урожайности (Y) сои, овса и яровой пшеницы в Хабаровском муниципальном районе Хабаровского края в период 2010–2018 гг. (т/га). В качестве независимых переменных модели были предложены максимальные значения среди еженедельных композитов NDVI пахотных земель района ($NDVI_{max}$), ГТК, количество дней (D) в календарном году со среднесуточной температурой $T > 10^\circ\text{C}$ до достижения NDVI максимальных значений, суммарная температура почвы за календарный год (слой 0–10 см), $^\circ\text{C}$, средняя влажность почвы за год (слой 0–10 см), %, фотосинтетически активная радиация за год (ГДж m^2). Данные за 2010–2018 гг. были получены с использованием системы «Vega-Science» (Якушев, Дубенок, Лупян, 2019). Построение регрессионной модели с пошаговым включением переменных показало, что точность модели с использованием двух показателей – максимума NDVI и количества дней с активными температурами – находится на достаточно высоком уровне для сои, являющейся основной культурой юга Дальнего Востока. Уравнение регрессии может быть записано в следующем виде:

$$Y = b + a_1 NDVI_{max} + a_2 D. \quad (1)$$

По данным Росстата, в последние два года доля посевов сои в Хабаровском муниципальном районе составляла около 60% общих пахотных земель, в то время как значение соответствующего показателя для овса и пшеницы находилось в диапазоне 5–9%. В таблице 1 представлены значения коэффициентов уравнения регрессии, коэффициента детерминации R^2 , среднеквадратичной ошибки (root-mean-square error (RMSE)) и абсолютной ошибки определения (mean absolute percentage error (MAPE), выраженной в %), для сои, овса и яровой пшеницы.

Таблица 1. Характеристики регрессионных моделей для определения урожайности сельхозкультур Хабаровского района по данным 2010–2018 гг.

Сельхозкультура	b	a_1	a_2	R^2	RMSE, т/га	MAPE, %
Соя	-10.3	11.1	0.025	0.66	0.12	6.5
Пшеница яровая	-6.7	6.2	0.030	0.39	0.23	9.8
Овес	-9.2	10.3	0.024	0.33	0.24	12.4

Использование подобной модели для культур, не являющихся доминирующей сельхозкультурой в регионе, не является оправданным: значения RMSE при оценке урожайности овса и пшеницы были практически в два раза хуже, чем у сои (0.23–0.24 т/га и 0.12 т/га соответственно). Значения R^2 для овса и пшеницы также были достаточно низкими: 0.33 и 0.39. В тоже время, значение R^2 для сои составляло 0.66, а MAPE – 6.5%. При этом все коэффициенты уравнения регрессии являлись значимыми при $p < 0.05$.

Снижение качества модели для оценки урожайности овса и пшеницы обусловлено использованием в качестве независимой переменной $NDVI_{max}$ для пахотных земель района. Ранее было установлено, что максимальные значения NDVI в Хабаровском районе для полей сои приходятся на 31-32 календарные недели года (Stepanov, Dubrovin, Sorokin, Aseeva, 2020). На рис. 1 представлены аппроксимированные функцией Гаусса значения индексов вегетации в период 19–42 календарных недель 2018 г. При этом, как видно из рисунка, $NDVI_{max}$ ранних зерновых смещается на 27–28 календарную неделю. Значения $NDVI_{max}$ для пахотных земель Хабаровского района, рассчитанные в период 2010–2018 гг. показали хорошую корреляцию с $NDVI_{max}$ отдельных полей сои.

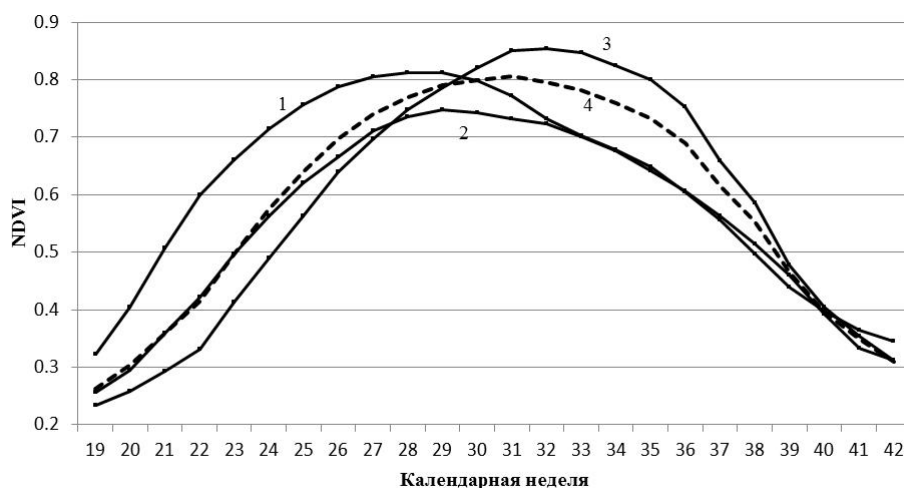


Рис. 1. Аппроксимированные значения композитов NDVI для разных культур (2018 г., Хабаровский р-н): 1 – пшеница, 2 – овес, 3 – соя, 4 – все пахотные земли

С практической точки зрения использование в модели только двух независимых предикторов – $NDVI_{max}$ и D , обеспечивают возможность использования модели с прогностической целью. Так, по данным многолетних наблюдений, начиная с середины июня и до 30 календарной недели на юге Дальнего Востока (в Хабаровском районе, в частности) редким исключением являются дни со среднесуточной температурой $T < 10^{\circ}\text{C}$. Предложенный ранее подход к прогнозированию $NDVI_{max}$ (Степанов, 2019) делает возможным осуществлять прогноз урожайности начиная с 27–28 календарных недель.

В целом, можно отметить, что качество регрессионной модели для оценки урожайности сельхозкультуры на региональном уровне при использовании маски пахотных земель района зависит от доли этой культуры в посевной площади района. Для сои, составляющей около 60% посевных площадей Хабаровского района, ошибка модели находилась на уровне 6.5%. Полученное уравнение регрессии, где в качестве независимых переменных вошли $NDVI_{max}$ и число дней со среднесуточной температурой $T < 10^{\circ}\text{C}$ с начала года до 30 календарной недели, может быть использовано для прогностической оценки урожайности сои в дальневосточных регионах с 27–28 календарных недель.

Список литературы

1. Береза О.В., Страшная А.И., Лупян Е.А. О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. № 1. Т. 12. С. 18–30.
2. Панеш А.Х., Цалов Г.В. Прогнозирование урожайности озимой пшеницы на основе сервисов геоинформационных систем // Вестник АГУ. 2017. № 4. С. 175–180.
3. M.S. Mkhabela, P. Bullock, S. Raj, S. Wang, Y. Yang. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(2011), p. 385–393.
4. Спивак Л.Ф. и др. Анализ результатов прогнозирования урожайности яровой пшеницы на основе временных рядов статистических данных и интегральных индексов вегетации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 2. С. 173–182.
5. T. Iizumi, Y. Shin, W. Kim. Global crop yield forecasting using seasonal climate information from a multi-model ensemble. *Climate Services*, 11(2018), p. 13–23.
6. Балабайкин В.Ф., Ёлкин К.В. Влияние изменения климата на урожайность зерновых в Костанайской области // Аграрный вестник Урала. 2014. № 11. С. 54–59.
7. Якушев В.П., Дубенок Н.Н., Лупян Е.А. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования Земли для сельского хозяйства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 11–23.
8. A. Stepanov, K. Dubrovin, A. Sorokin, T. Aseeva. Predicting Soybean Yield at the Regional Scale Using Remote Sensing and Climatic Data. *Remote Sens.*, 12(2020), p. 1936:1–1936:19.
9. Степанов А.С. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования Земли (на примере сои) // Вычислительные технологии. 2019. Т. 24. № 6. С. 126–134.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПО СУБЪЕКТАМ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

А. И. Страшная, О. В. Береза, Т. А. Максименкова
ФГБУ «Гидрометцентр России»

Введение

В условиях глобальных климатических изменений для последних десятилетий характерны крупные погодные аномалии, наблюдаемые как в нашей стране, так и в сопредельных государствах. Резкие колебания погодных условий негативно сказываются на устойчивости урожаев сельскохозяйственных культур. В связи с этим в агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства, проводимом Росгидрометом, основное внимание уделяется всесторонней оперативной информации о влиянии складывающихся погодных условиях, особенно экстремальных, на состояние и формирование продуктивности сельскохозяйственных культур. При этом важной составляющей этой информации являются прогнозы урожайности зерновых культур, так как в Российской Федерации, как и во многих странах мира, валовые сборы зерна являются основой продовольственной безопасности. [Бедрицкий, 2004; Гордеев, Бутовский, 2009]. Среди зерновых культур важное место принадлежит озимой пшенице. Вклад этой культуры в зерновой баланс страны составляет до 46–47%. Урожайность озимой пшеницы значительно колеблется по годам, в связи с этим прогнозы урожайности и валового сбора зерна пшеницы, составляемые с большой заблаговременностью, особенно в годы неблагоприятных погодных условий и засух, весьма полезны как для планирования самообеспечения регионов, создания интервенционного государственного фонда, так и для определения возможных объёмов экспорта этой ценной продовольственной культуры. В Росгидромете прогнозы урожайности озимой пшеницы по территории её возделывания составляются по методам, разработанным в основном в 70–90-е годы на основе использования наземных наблюдений гидрометеостанций. В связи с недостаточным количеством данных наблюдений для получения устойчивых средних по субъектам Российской Федерации характеристик тепло- и влагообеспеченности

растений, а также при возросшем уровне культуры земледелия, оправдываемость их в отдельные годы бывает невысокой, что вызвало необходимость разработки нового метода прогноза.

Исследование изменчивости урожайности озимой пшеницы в субъектах европейской части России в период 2001–2019 гг.

На рассматриваемой территории (Чернозёмная зона и южные районы Нечернозёмной зоны), где сосредоточено около 95% посевных площадей озимой пшеницы, наблюдается значительный рост урожайности, о чём свидетельствуют рассчитанные нами тренды урожайности в виде полиномов первой степени. Оказалось, что в большинстве субъектов Центрального, Южного федеральных округов и в Северо-Кавказском федеральном округе (Ставропольский край) урожайность пшеницы (здесь и далее используется урожайность по субъектам по данным Росстата с убранной площади) увеличилась в среднем от начала рассматриваемого периода (2001 г) к концу его (2019 г) на 9–13 ц/га, в Краснодарском крае на 17,5 ц/га, а в Курской и Белгородской областях на 25,1–25,7 ц/га (табл. 1). Для субъектов Приволжского федерального округа в основном характерен небольшой рост урожайности – 2–4 ц/га. В таблице 1 (по ряду субъектов) приведены данные об изменчивости урожайности озимой пшеницы, характерной для большей части рассматриваемой территории.

Анализ построенных трендов показал, что вследствие повышения культуры земледелия (внедрением в производство новых более продуктивных сортов, применением интенсивных технологий) скорость погодичного прироста урожайности в субъектах существенно различалась и составляла в основном от 0,25 до 0,74 ц/га, а в Краснодарском крае, Курской и Белгородской областях 1,11–14,2 ц/га. Однако необходимо отметить, что в Республике Татарстан, например, урожайность озимой пшеницы в среднем от начала к концу периода не увеличилась, на наш взгляд, вследствие роста засушливости (о чём будет сказано ниже) и больших колебаний урожайности по годам – экстремальное отрицательное отклонение от тренда самое большое (-18,2 ц/га) среди всех субъектов округа, а среднее квадратичное отклонение (СКО) составляет 6,9 ц/га. В то же время для Республики характерна самая высокая в округе средняя за рассматриваемый период урожайность озимой пшеницы (28,5 ц/га). В

большинстве субъектов максимальная урожайность пшеницы получена в благоприятном по метеорологическим условиям 2017 году, она в 2–3 раза, а по отдельным субъектам почти в четыре раза превышала минимальную, наблюдавшуюся в большинстве субъектов в жестокую засуху 2010 года.

Таблица 1. **Изменчивость урожайности озимой пшеницы в субъектах европейской части России (2001–2019 гг.)**

Территория	Урожайность, ц/га								СКО
	по тренду		макс	год	мин.	год	экстремальные отклонения		
	начало периода	конец периода					+	–	
Центральный федеральный округ									
Воронежская обл.	22,9	36,3	45,6	2017	15,4	2010	10,8	-14,2	7,3
Курская обл.	20,5	46,2	53,3	2017	18,4	2003	10,0	-11,6	9,6
Липецкая обл.	27,6	39,1	44,6	2017	20,5	2010	9,8	-12,8	7,2
Приволжский федеральный округ									
Ульяновская обл.	20,2	22,3	32,2	2017	9,8	2010	10,2	-11,4	5,0
Республика Татарстан	31,2	25,8	37,9	2002	10,3	2010	10,3	-18,2	6,9
Саратовская обл.	16,7	21,0	35,1	2017	9,3	2010	14,6	-9,9	6,0
Южный федеральный округ									
Ростовская область	26,1	35,4	44,5	2017	19,6	2003	10,1	-8,4	6,0
Краснодарский край	41,0	58,5	62,1	2017	33,8	2003	7,6	-11,6	7,7
Северо-Кавказский федеральный округ									
Ставропольский край	30,4	39,5	43,7	2017	22,8	2012	5,2	-13,1	5,5
Кабардино-Балкария	30,0	33,0	37,9	2018	23,7	2005	5,1	-7,0	3,3

В целом по Российской Федерации максимальная урожайность пшеницы за рассмотренный период также получена в 2017 году, а минимальная (21,2 ц/га) в 2003 году (когда сильная засуха наблюдалась на Северном Кавказе), низкая урожайность (24,9 ц/га) получена также в засуху 2010 года и 23,1 ц/га в засуху 2012 года. За период 2001–2019 гг. в динамике урожайности озимой пшеницы (рис. 1) довольно чётко выделяются два подпериода с 2011 по 2019 гг., когда скорость погодичного прироста урожайности составляла 1,45 ц/га и период слабого прироста (0,23 ц/га) в 2000–2010 гг. При анализе динамики урожайности

в более ранние годы отмечается значительный погодичный прирост урожайности в 1981–1990 гг. (1,41 ц/га) и падение урожайности в период структурной перестройки в сельскохозяйственной отрасли в 1991–2000 гг. (-1,45 ц/га). Однако нельзя не отметить, что в этот период наблюдалось два очень засушливых года – 1995 и 1998 гг., что также способствовало снижению урожайности. Отметим, что динамика урожайности пшеницы (рис. 1а) в Российской Федерации аналогична (или весьма схожа) с динамикой урожайности всех зерновых культур в целом (рис.1б), что также указывает на большой вклад озимой пшеницы в общую урожайность зерновых культур. Коэффициент корреляции между ними, рассчитанный за период 2001–2019 гг., составил 0,913.

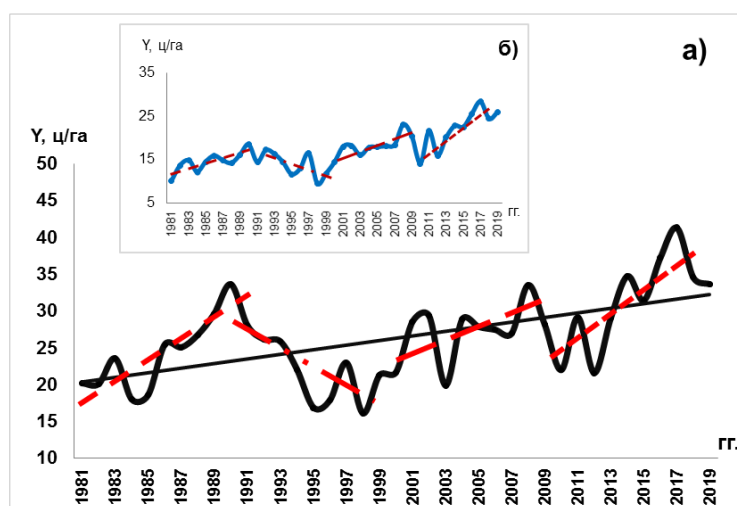


Рис. 1. Динамика урожайности озимой пшеницы (а) и зерновых и зернобобовых культур (б) по Российской Федерации за период 1981–2019 гг.

Как известно [Уланова, Страшная, 2000; Клещенко, 2000; Фролов, Страшная, 2011; Strasnaуа и др., 2010], значительные недоборы зерна в регионах России наблюдаются не только в годы **сильных** засух, когда гидротермический коэффициент увлажнения (согласно используемым в Росгидромете критериям) меньше или равен 0,60 ($ГТК \leq 0,60$), но и в годы **средних** засух, когда $ГТК \leq 0,61–0,80$. Как показал анализ временных рядов урожайности озимой пшеницы, в большинстве субъектов рассматриваемой территории урожайность значительно (до 20% и более) снижалась как в годы сильных засух ($ГТК \leq 0,60$), так и в годы, когда интенсивность засух была средней ($ГТК \leq 0,80$). Нами рассчитана

повторяемость сильных и средних засух (совместно) во всех субъектах рассматриваемой территории в основной период весенне-летней вегетации озимой пшеницы (в мае, июне и в целом за май–июнь) за период 1990–2019 гг. (табл. 2).

Таблица 2. Повторяемость (вероятность, %) сильных ($ГТК \leq 0,60$) и средних ($ГТК \leq 0,61-0,80$) атмосферных засух за период 1990–2019 гг.

Субъект РФ	Вероятность, %			Вероятность, % в мае		Вероятность, % в июне	
	май	июнь	май–июнь	1990–2004 гг.	2005–2019 гг.	1990–2004 гг.	2005–2019 гг.
Белгородская область	30	33	13	27	33	27	40
Воронежская область	47	37	40	47	47	40	27
Курская область	30	30	20	20	40	40	20
Липецкая область	50	37	23	47	53	33	40
Орловская область	27	27	10	27	27	33	20
Рязанская область	43	33	30	40	47	33	33
Тамбовская область	50	33	27	40	60	33	33
Тульская область	30	30	20	40	20	20	40
Оренбургская область	60	60	60	53	67	47	73
Пензенская область	47	37	27	33	60	33	40
Республика Башкортостан	33	33	23	33	33	33	33
Республика Мордовия	40	27	20	33	47	27	27
Республика Татарстан	50	43	37	33	67	40	47
Самарская область	63	40	57	53	73	27	53
Саратовская область	60	53	60	53	67	53	53
Ульяновская область	47	37	37	27	67	33	40
Волгоградская область	60	70	70	67	47	47	93
Краснодарский край	20	23	13	20	20	27	20
Республика Калмыкия	63	83	60	73	53	67	100
Ростовская область	43	57	43	40	47	47	67
Ставропольский край	17	27	10	13	20	13	40
Кабардино-Балкарская Республика	13	7	3	20	7	0	13

Оказалось, что на преобладающей территории повторяемость таких засух ($ГТК \leq 0,80$) в мае значительно превосходит таковую в июне почти на всей территории Приволжского и на востоке Центрального федеральных округов, а в субъектах Южного федерального округа и в Ставропольском крае повторяемость таких засух больше в июне. В Тамбовской, Воронежской, Липецкой, Ульяновской, Пензенской, Самарской, Саратовской, Волгоградской,

Оренбургской областях в мае такие засухи наблюдаются в 5–6 годах из 10, что обуславливает значительные колебания урожайности в этих субъектах, в июне такие засухи наблюдаются в основном в 3–4 годах из 10 лет (табл. 2). В целом за май–июнь во всех субъектах Приволжского федерального округа (кроме Республики Башкортостан), на северо-востоке Центрального и севере Южного федеральных округов, а также в Ставропольском крае наблюдалось увеличение повторяемости таких засух ($ГТК \leq 0,80$) во втором периоде (рис. 2). Понятно, что это в значительной степени сдерживало рост урожайности пшеницы, наблюдаемый вследствие улучшения культуры земледелия, особенно в Приволжском федеральном округе. Оценка изменений вероятности засушливых условий или оценка рисков засух в земледелии имеет большую хозяйственную значимость для разработки мер по адаптации к меняющимся погодным условиям [Иванов, 2008; Якушев, 2011; Salinger J. и др., 2005].

Наиболее стабильные урожаи озимой пшеницы получают в субъектах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов (рис.3). Коэффициенты вариации (v) урожайности в субъектах этих округов составляют 16–20% (в Кабардино-Балкарской Республике менее 16%). Наибольшая изменчивость урожайности характерна для ряда областей Среднего Поволжья – Самарской, Саратовской и Пензенской областей, где коэффициенты вариации составляют 35–37%.

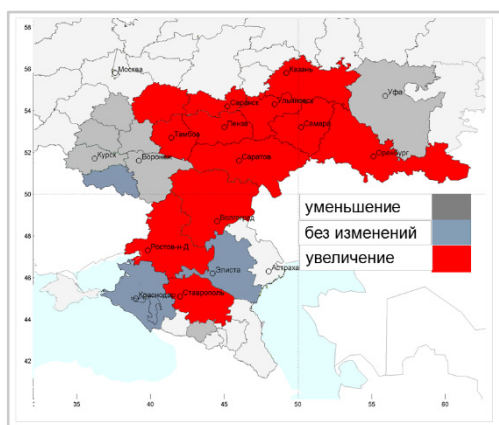


Рис. 2. Изменение рисков (вероятность, %) сильных и средних засух в мае–июне ($ГТК \leq 0,80$) за период 2005–2019 гг. по сравнению с 1990–2004 гг.

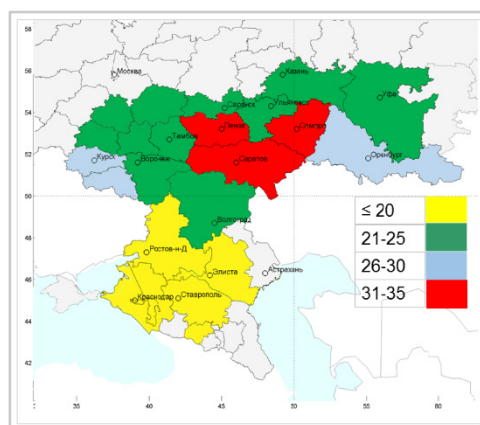


Рис. 3. Коэффициенты вариации (v , %) урожайности озимой пшеницы

Анализ динамики вегетационного индекса NDVI в субъектах европейской территории России

В настоящее время в ряде исследований по разработке методов оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур и прогнозирования урожайности используются ставшие широко доступными данные спутниковых измерений, позволяющие получать достаточно надёжные характеристики состояния посевов на больших площадях [Барталев, 2010; Клещенко и др., 2015; Сторчак, 2014; Страшная и др., 2014; Береза, 2015; Савин, 2010; Толпин, 2014; Лупян, 2009; Плотников, 2017; Kogan, 2003]. В наших исследованиях по разработке метода прогноза урожайности озимой пшеницы использовались как архивные (за период с 2001 года), так и оперативные данные (значения наиболее распространённого вегетационного индекса NDVI, осреднённого по субъектам), получаемые с сервиса «ВЕГА» ИКИ РАН (<http://pro-vega.ru>) [Лупян и др., 2011], а также метеорологические данные гидрометеостанций Росгидромета за 2001–2019 гг.

Анализ вегетационных индексов, как известно, позволяет хорошо отслеживать динамику развития разных типов растительности и её состояние. Однако динамика различных типов растительности, в том числе посевов сельскохозяйственных культур, в разных регионах может сильно отличаться, поэтому при оценке состояния растительности «необходимо учитывать особенности и растительности, и территории, на которой она наблюдается» [Толпин и др., 2014]. Одним из подходов для учёта этих особенностей является анализ временных рядов хода вегетационных индексов разных типов растительности на различных территориях с целью выявления аномалий в их временном ходе путём сравнения с неким «нормальным» ходом развития. В ИКИ РАН был предложен метод оценки состояния отдельных типов сельскохозяйственных посевов не только на качественном уровне (хуже/лучше среднего), но и разработан метод и алгоритм, позволяющий в автоматизированном режиме рассчитывать величины относительного отклонения текущей динамики вегетационного индекса NDVI от

среднемноголетней нормы, которое выражается в процентах. Для больших территорий (район, субъект) норма может определяться как «межгодовое усреднение» значений NDVI для этой территории по определённому типу растительности. В [Толпин и др., 2014] указывается, что при этом в районе необходимо иметь достаточно большое количество «площадей», занятых данным типом растительности. В нашем случае это хорошо детектируемые посевы озимых культур в субъектах европейской территории, где они возделываются на больших площадях. При этом во всех субъектах посевы пшеницы среди возделываемых озимых культур преобладают, а в южных районах пшеница – доминирующая культура.

Для учёта особенностей хода NDVI в онтогенезе озимой пшеницы на различных территориях при проведении исследований по разработке нового метода прогноза урожайности нами были рассчитаны средние многолетние значения NDVI (за 2001–2019 гг.) по субъектам рассматриваемой территории и построены графики их динамики по неделям весенне-летней вегетации: от 13-й недели, когда на большей части европейской территории возобновляется активная вегетация озимой пшеницы, до созревания – 28–30-я недели. На рис. 4 показана средняя многолетняя динамика NDVI по Республике Татарстан, Саратовской области и Краснодарскому краю, где сроки прохождения фаз развития растений в связи с различными погодно-климатическими условиями существенно различаются. Можно видеть, что в Саратовской области максимальное значение NDVI в среднем отмечается в 22-ю неделю вегетации, в Краснодарском крае, где наблюдаются самые ранние сроки начала активной весенней вегетации, максимальное значение NDVI достигается уже в 19–20-ю неделю, а на севере рассматриваемой территории (Республика Татарстан) в 24-ю неделю.

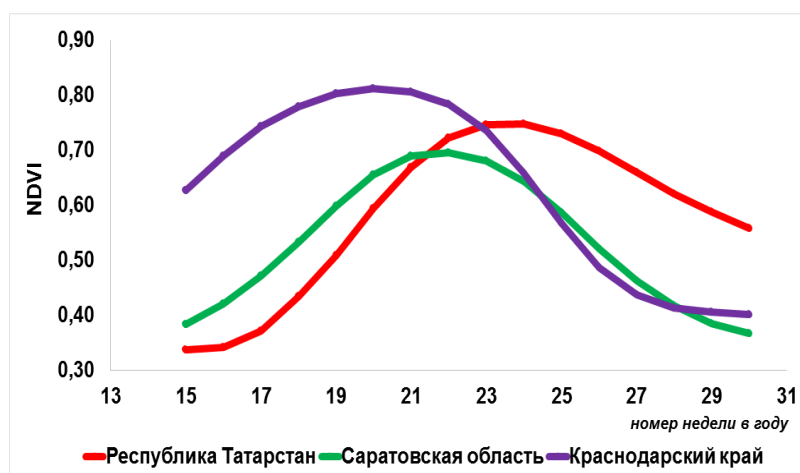


Рис. 4. Динамика средних многолетних значений NDVI по озимым культурам в Республике Татарстан, Саратовской области и Краснодарском крае

Анализ временного хода «нормы» NDVI выявил не только существенные различия (до четырёх недель) в сроках наступления максимальных значений в северных и южных районах территории, но и более интенсивный рост их значений в начале вегетации в южных районах, чем в северных. По-видимому, это связано с особенностями развития растений в осенний период. В южных районах, как показывает практика, озимые чаще прекращают вегетацию осенью в более развитом состоянии. Кроме того, в тёплые зимы, которые всё чаще наблюдаются в условиях глобального потепления в последние три десятилетия, они возобновляют вегетацию и зимой, в периоды коротких, но значительных потеплений. Развитие растений продолжается и гидрометстанции в отдельные годы отмечают образование дополнительных побегов кущения. Использование построенных графиков хода средней многолетней динамики NDVI с динамикой этого показателя в конкретном году, а также наземных данных гидрометстанций позволяет более качественно оценить состояние посевов в текущем году, что особенно важно в аномальные по темпам развития годы, а также в годы засух. Отметим, что мониторинг засух на основе спутниковой и наземной информации в последние годы ведётся во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии [Клещенко, 2015; Страшная и др., 2014; Фролов, Страшная, 2011; Вильфанд и др., 2019].

Нами исследовалась динамика NDVI в субъектах в разные по условиям увлажнения (засушливости) годы. Выявлено, что в засушливые годы динамика этого показателя значительно отличается от средней многолетней динамики в зависимости от интенсивности и продолжительности засух. Так, например, в Саратовской области в беспрецедентную засуху 2010 года [Фролов, Страшная, 2011] формирование урожайности озимой пшеницы в мае–июне происходило в условиях аномально жаркой погоды (даже средняя месячная температура воздуха превышала норму на 3,0...4,5°C), и дефицита осадков (менее 30% нормы). Гидротермический коэффициент увлажнения за май–июнь (ГТК₅₋₆) составил 0,21, что соответствует очень сильной засухе. И хотя озимые в этом году пострадали несколько в меньшей степени, чем яровые (за счёт хорошего использования достаточных весенних влагозапасов в почве), жаркая погода ускорила их развитие, но рост растений и накопление вегетативной массы замедлялись; высота растений, количество колосков и зёрен в колосе было меньше, чем обычно, что часто наблюдается в годы весенне-летних засух [Самофалова, 2019; Страшная и др., 2011; Уланова, Страшная, 2000]. Максимальное значение NDVI составило 0,599 и наблюдалось уже в 20-ю неделю, тогда как среднее многолетнее значение в этой области составляет 0,690 и наблюдается в 22-ю неделю (рис. 5). В 2012 году засуха была хотя и продолжительной (май–июнь), но менее интенсивной, ГТК₅₋₆ составил 0,46, что соответствует сильной засухе. Максимальное значение NDVI составило 0,616. Средняя урожайность озимой пшеницы в 2010 г. составила 9,3 ц/га, тогда как в смежном 2009 году она была 16,9 ц/га. В 2012 году средняя урожайность озимой пшеницы была 12,8 ц/га. Таким образом, можно констатировать, что значения NDVI и их динамика достаточно адекватно отражали влияние жёстких засушливых условий на урожайность пшеницы в годы, разные по интенсивности засух (2010 и 2012 годы).

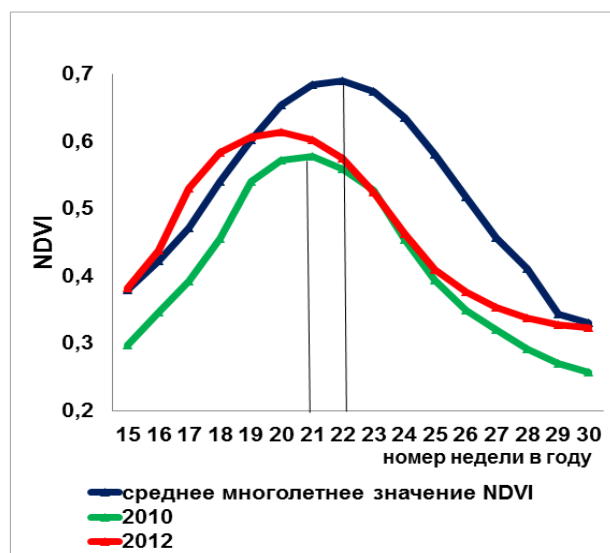


Рис. 5. Динамика значений NDVI в засушливые 2010 и 2012 годы по сравнению со средней многолетней динамикой в Саратовской области

В последние годы в ИКИ РАН на основе разработанного алгоритма автоматизированных расчётов величины относительного отклонения текущей динамики NDVI от среднего многолетнего хода (нормы) выпускаются различные бюллетени и картограммы, содержащие, например, оценку состояния озимых культур в процентах от средней многолетней (по соответствующей шкале). Фрагмент такой карты, по данным за 2-ю декаду мая 2020 г., приведён на рис. 6 в сравнении с картой оценки состояния и фаз развития по данным гидрометстанций, основанной на учёте метеорологических показателей (температуры воздуха, количества осадков, запасов продуктивной влаги в почве), которая ежедекадно подготавливается (выпускается) в Гидрометцентре России.

Можно видеть, что оценка состояния озимых культур по данным гидрометстанций в районе наблюдавшейся на Северном Кавказе (особенно в Ставропольском крае) и в Республике Крым атмосферной и почвенной засухи в апреле и начале мая достаточно адекватна оценке по данным спутниковых измерений. Гидротермический коэффициент увлажнения в Ставропольском крае в апреле был 0,55, в Республике Крым 0,48, что соответствует сильной засухе. Количество осадков в Ставропольском крае в апреле составило 27% нормы, в Республике Крым 43%.

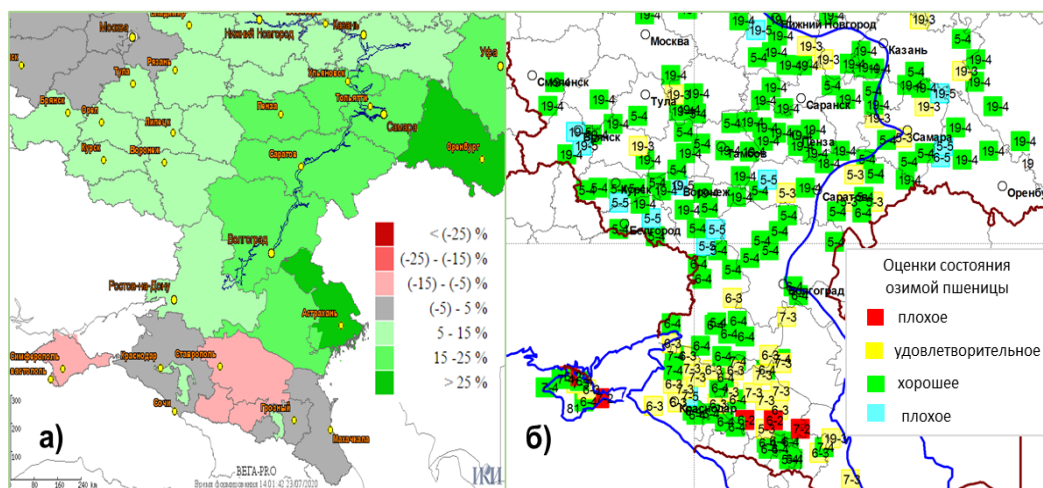


Рис. 6. Оценка состояния озимых культур в процентах от среднего по спутниковым (а) и наземным (б) данным за 2-ю декада мая 2020 года

Разработка метода прогноза урожайности озимой пшеницы

На величину урожайности озимой пшеницы оказывают влияние не только агрометеорологические условия весенне-летней вегетации, но и условия зимовки. В связи с этим прогнозирование урожайности озимых зерновых культур – задача более сложная, чем яровых зерновых культур. В осенний период во многих районах юго-восточной половины рассматриваемой территории также нередко засухи, вызывающие изреженность озимых культур, а также сдвиг сроков сева на более поздние относительно оптимальных [Страшная и др., 2011; Вильфанд и др., 2016]. Совокупный вклад осенне-зимних условий в конкретные годы по разным оценкам может достигать 15–35% и более [Моисейчик, 1975; Страшная, Коренкова, 2005; Уланова, Страшная, 2000]. Нами для разработки метода прогноза урожайности озимой пшеницы в основной срок, принятый в Росгидромете (третья декада мая), использовались методы регрессионного и корреляционного анализа, а также графический метод, позволившие установить, как тесноту, так и характер связей урожайности с гидрометеорологическими факторами и NDVI. На основе построенных корреляционных матриц исследовалась теснота связей средней урожайности озимой пшеницы в субъектах со средней месячной температурой воздуха (Т), количеством осадков (R) по месяцам вегетационного периода (апрель, май, июнь, июль), гидротермическими коэффициентами за май (ГТК₅), июнь (ГТК₆),

июль (ГТК₇) и средним ГТК за май–июнь (ГТК₅₋₇). Данные за апрель использовались только по югу территории. Оказалось, что на преобладающей территории наиболее тесные прямые (положительные) связи урожайности пшеницы наблюдались с влагообеспеченностью посевов в мае (с ГТК или количеством осадков), коэффициенты корреляции составляли в основном от 0,42 до 0,56, а также со средней за май температурой воздуха (коэффициенты корреляции от 0,45 до 0,60). На юге территории теснота связей с этими же показателями в апреле была практически на таком же уровне или несколько ниже, но значимой. Менее тесные связи (в ряде случаев ниже уровня значимых) были в июне, а в июле слабые связи отмечались лишь в субъектах северных районов территории, на юге в этом месяце уже производится уборка озимых (средние сроки полной спелости озимой пшеницы здесь приходятся на конец первой – начало второй декад июля).

Типичная для большинства субъектов связь урожайности озимой пшеницы в отклонениях от тренда с метеорологическими параметрами показана на рис. 7а на примере Пензенской области. Можно видеть, что связь отклонений урожайности озимой пшеницы от тренда с температурой воздуха во все месяцы была отрицательной, а наиболее тесной она была в мае ($r=-0,58$). Здесь необходимо заметить, что если практически повсеместно связь урожайности с температурой воздуха в мае была обратной (отрицательной), то в нечернозёмных областях (Орловской, Тульской, Рязанской) она была положительной, но значительно слабее. Повышенная температура воздуха, особенно в южных и восточных районах (днём 30°C и выше, а средняя за месяц до 20°C и выше) чаще всего наблюдается на фоне значительного дефицита осадков и снижения влагозапасов в почве, так как при этом, как известно, резко увеличивается непродуктивное испарение влаги, что в конечном итоге негативно сказывается на формировании урожая. При высокой температуре воздуха процессы ассимиляции замедляются, к тому же в условиях сухости воздуха увеличивается стерильность цветков, что может обусловить череззерницу и пустоколосицу [Самофалова, 2019; Страшная, 2011; Фролов, Страшная, 2011]. В указанных

выше нечернозёмных областях такая высокая температура воздуха в мае за рассмотренный период не наблюдалась. На рис. 7б такая диаметрально противоположная связь урожайности пшеницы со средней температурой воздуха в мае показана на примере Ростовской и Орловской областей. Для наглядного представления о типичном характере связей урожайности с количеством осадков в апреле приведён рис. 7в, где показана зависимость урожайности озимой пшеницы от количества осадков в этом месяце по Ростовской и Волгоградской областям, а с ГТК в мае (ГТК₅) по Республике Татарстан и Ставропольскому краю.

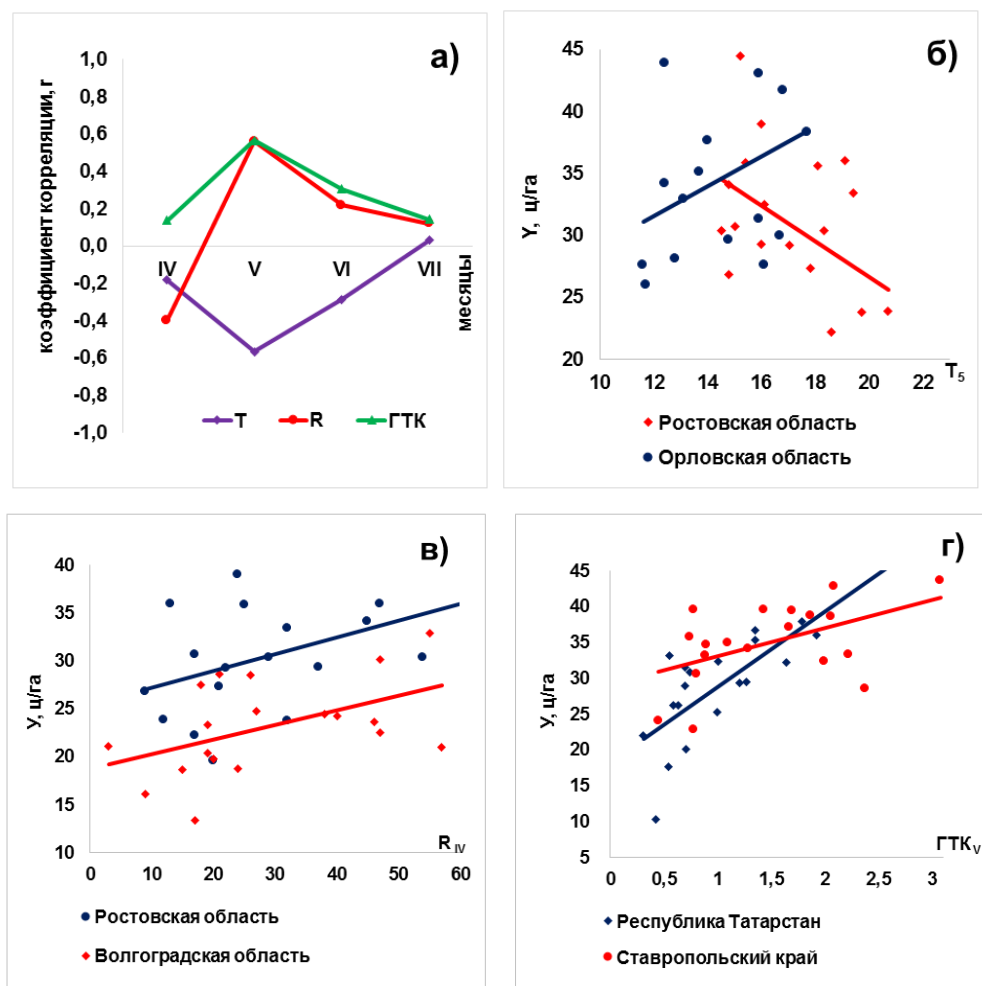


Рис. 7. Временно – корреляционная функция зависимости отклонений урожайности озимой пшеницы от тренда (ΔY) от агрометеорологических факторов – ГТК, количество осадков (R), температура воздуха (T) в Пензенской области (а); связь урожайности озимой пшеницы с температурой воздуха (T₅) в мае по Ростовской и Орловской областям (б), количеством осадков (R_{IV}) в апреле по Ростовской и Волгоградской областям (в), с гидротермическим коэффициентом увлажнения в мае (ГТК₅) по Республике Татарстан и Ставропольскому краю (г)

Для определения периода, когда связь урожайности озимой пшеницы с NDVI является значимой, а, следовательно, и возможности использования NDVI в прогностических моделях урожайности в комплексе с другими параметрами, нами также рассчитывались матрицы парных коэффициентов корреляции (за 2001–2019 гг.) между средней по субъектам урожайностью пшеницы и значениями NDVI по неделям вегетации. Анализ этих коэффициентов и построенных на их основе временных корреляционных функций позволил выявить периоды как значимых, так и наиболее тесных связей урожайности со значениями вегетационного индекса NDVI. В качестве примера такие функции (динамика тесноты связей, или коэффициентов корреляции r) по Воронежской, Ростовской областям и Республике Татарстан, где они значительно различаются, приведена на рис.8а. Тесная значимая связь урожайности пшеницы с NDVI ($r=0,52$ и более) в южных областях (Ростовская) наблюдается в 16-ю неделю (вторая декада апреля), когда у хорошо развитых посевов пшеницы уже наблюдается фаза «выход в трубку». Максимальная теснота связи урожайности озимой пшеницы с NDVI наблюдается в этой области в 20–21-ю недели, в большинстве лет это совпадает с началом колошения (конец второй – начало третьей декады мая). Значимая связь ($r \geq 0,52$) продолжается до 24-й недели. На максимальную связь урожайности озимой пшеницы с NDVI в период колошения указывается и в работах других авторов [Сторчак, 2014]. В Воронежской области такая же значимая связь наблюдалась в период с 17-й по 24-ю недели, а максимальной она была в 22-ю неделю. В Республике Татарстан значимый уровень коэффициентов корреляции с урожайностью пшеницы отмечался с 19-й по 27-ю недели, а максимальное значение r наблюдалось в 24–25-ю недели (начало колошения). В качестве наглядного примера зависимость урожайности озимой пшеницы от NDVI по Ставропольскому краю и Воронежской области приведена на рис. 8б.

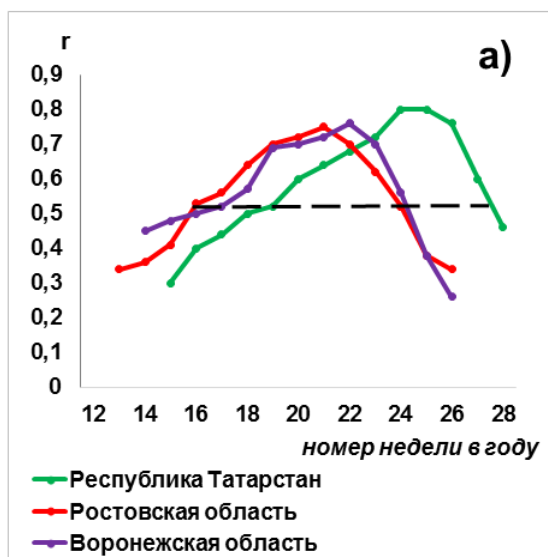


Рис. 8а. Связь урожайности озимой пшеницы с NDVI (динамика коэффициентов корреляции r) по Республике Татарстан, Ростовской и Воронежской областям за период 2001–2019 годы

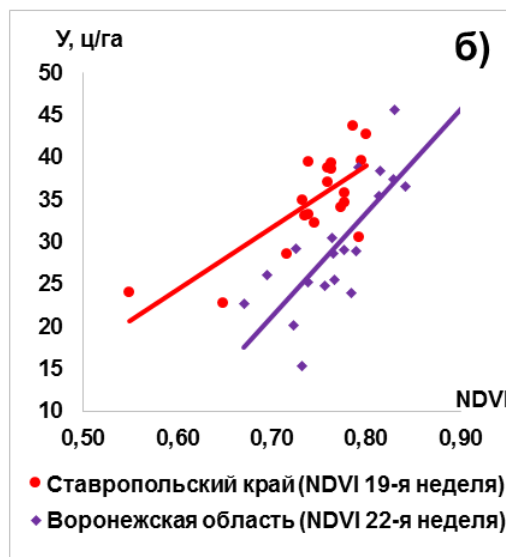


Рис. 8б.— Связь урожайности озимой пшеницы с NDVI в Ставропольском крае и Воронежской области

Изменения (рост) урожайности, как и изменение условий увлажнения в различных регионах происходит по-разному. Так, например, увеличение засушливости в мае–июне, наблюдаемое в восточной половине европейской территории России (рис. 2) в разных субъектах по-разному сказывалось на динамике урожайности озимой пшеницы. На рис. 9 показана динамика урожайности озимой пшеницы и динамика увлажнения в основной период вегетации в мае–июне (ГТК₅₋₆) за 2001–2019 гг. по Тамбовской области. Как хорошо видно на приведённом рисунке, при уменьшении ГТК₅₋₆ от начала периода (1,31 – хорошее увлажнение) к концу его (0,79 – средняя засушливость), т.е. на 0,52, урожайность в среднем за счёт культуры земледелия увеличилась на 3,4 ц/га. В то же время в Самарской области, например, где также значительно увеличилась засушливость и повторяемость засух, уменьшение ГТК₅₋₆ от начала к концу периода было даже более существенным – от 1,25 до 0,62, а урожайность пшеницы в среднем за период увеличилась на 10,5 ц/га, что указывает на более значительный вклад в урожайность улучшения культуры земледелия в этой области.

При разработке метода прогноза урожайности озимой пшеницы в использованном нами подходе урожайность рассматривалась как сумма двух составляющих: $У_{пр} = У_{тр} + \Delta У$, где $У_{тр}$ – детерминированная составляющая, определяемая в основном культурой земледелия, $\Delta У$ – случайная величина, зависящая главным образом от метеорологических условий и состояния посевов по спутниковым данным в текущем году, так как в результате проведенных исследований, выявивших значительный вклад в урожайность культуры земледелия, наиболее целесообразным оказался подход, позволяющий прогнозировать урожайность в отклонениях от тренда.

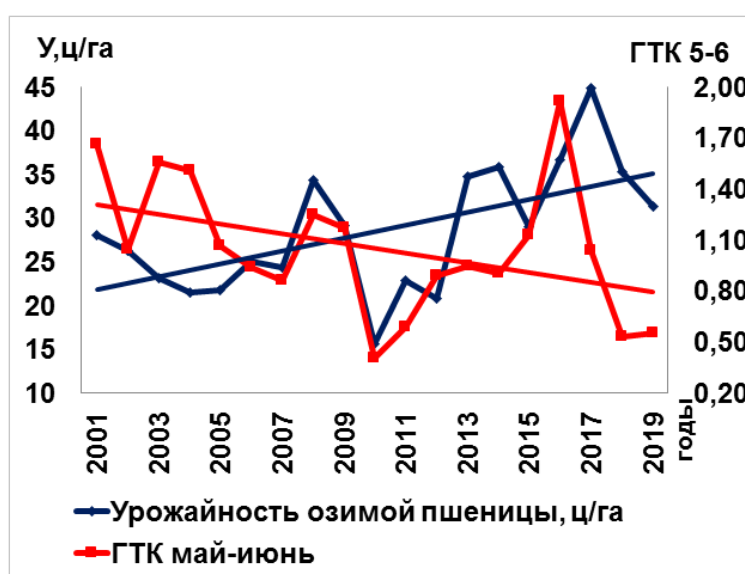


Рис. 9. Динамика урожайности озимой пшеницы и гидротермического коэффициента увлажнения за май-июнь (ГТК₅₋₆) по Тамбовской области за период 2001–2019 гг.

При этом метеорологические параметры для прогностической модели, как указывалось выше, рассчитывались в среднем за месяц, а значения NDVI выбирались с учётом значимости установленных их связей с урожайностью озимой пшеницы и срока составления прогнозов, т.е. использовались значения NDVI, ближайшие к дате составления прогнозов.

Для расчёта урожайности в отклонениях от тренда на первом этапе необходим расчёт тренда или тенденции временного ряда урожайности для каждого субъекта. Для всех субъектов рассматриваемой территории (кроме Республик Татарстан и Башкортостан) характерен рост урожайности за счёт культуры земледелия, который вполне удовлетворительно описывается

уравнением прямой. Приведём типичное уравнение тренда, например, по Самарской области: $Y_{\text{тр}} = 0,5812x + 13,735$; $R^2 = 0,278$, где $Y_{\text{тр}}$ – урожайность озимой пшеницы, рассчитанной по тренду; x – порядковый номер года (в 2001 г $x=1$). Для Республик Татарстан и Башкортостан для расчёта $Y_{\text{тр}}$ использовался полином второй степени: для Республики Татарстан, например, уравнение тренда имеет вид: $Y_{\text{тр}} = 0,1061x^2 - 2,4203x + 38,927$; $R^2 = 0,224$, обозначения те же, что и для Самарской области. Прогностическая урожайность в таких случаях будет иметь вид: $Y_{\text{пр}} = Y_{\text{тр}} + \Delta Y$.

При разработке прогностической модели для расчёта урожайности озимой пшеницы в отклонениях от трендов все субъекты были сформированы в группы по относительной схожести агроклиматических условий и с учётом синхронности отклонений урожайности от трендов (положительных, отрицательных), обусловленных влиянием погоды конкретных лет по знаковому критерию (или коэффициенту Фехнера), представляющего собой отношение разности количества совпадений (r) и несовпадений отклонений (k) по знаку (+, -) к их сумме: $\Phi = (r-k)/(r+k)$.

В результате в Центральном федеральном округе было сформировано три группы областей: в первую группу вошли Курская, Белгородская и Воронежская области, во вторую Липецкая и Тамбовская области, а в третью – Орловская, Тульская и Рязанская области. В южном регионе в первую группу вошли Ростовская и Волгоградская области, во вторую – Краснодарский, Ставропольский края и Кабардино-Балкарская Республика. В Приволжском федеральном округе сформированы три группы: первая группа – Оренбургская, Самарская и Саратовская области, вторая – Ульяновская и Пензенская области и третья группа – Республики Татарстан и Башкортостан.

В таблице 3 приведены разработанные прогностические регрессионные модели для отдельных групп субъектов для расчёта урожайности озимой пшеницы в отклонениях от трендов на основе комплексирования наземных и спутниковых данных (I) и для сравнения модели без учёта NDVI, т. е. только с использованием метеорологических параметров (II).

Отметим, что метеорологические параметры, входящие в состав модели в автоматизированном режиме рассчитываются по данным декадных агрометтелеграмм, поступающих в Гидрометцентр России на основе использования прикладных статистических программ, имеющихся на рабочих местах прогнозиста-агрометеоролога в локальной вычислительной сети Гидрометцентра «PROMETEY». Текущие значения NDVI в декаду, ближайшую к составлению прогноза, берутся с сервиса ВЕГА-PRO.

Таблица 3. Значения коэффициентов регрессии в прогностических моделях урожайности (ΔY) и множественные коэффициенты корреляции (июнь)

Субъекты	a_1		a_2	a_3	a_4	a_5	C	R
Липецкая, Тамбовская области	I		-0,102	4,982		32,292	-5,447	0,727
	II		-1,409	2,279			20,972	0,510
Волгоградская, Ростовская области	I	0,079	-1,059		33,098		-4,519	0,803
	II	0,130	-0,932				14,452	0,615
Ульяновская, Пензенская области	I		-1,008	6,244		35,778	-13,307	0,772
	II		-1,343	4,992			15,549	0,666
Ставропольский, Краснодарский край	I		-1,216	1,058	23,233		2,615	0,708
	II		-1,235	1,658			18,637	0,611

Примечание: a_1 – коэффициент регрессии при количестве осадков в апреле, мм (R_4); a_2 – при средней температуре воздуха в мае, °C (T_5); a_3 – при ГТК₅; a_4 – при NDVI в 18-ю неделю ($NDVI_{18}$); a_5 – при NDVI в 20-ю неделю ($NDVI_{20}$); C – свободный член; R – множественный коэффициент корреляции.

Предлагаемый метод удобен для применения в оперативном режиме. Этому способствует небольшое количество входных параметров в прогностическую модель, автоматизация вычислений и достаточно высокая точность прогнозирования. За проверенные последние пять лет (расчёты оправдываемости прогнозов, составленных по моделям с учётом спутниковых данных (NDVI) проводились в субъектах на зависимом материале) относительная ошибка этих прогнозов колебалась в основном от 6 до 15%, прогнозов, составленных только по метеорологическим данным, ошибка была на 4–7% больше.

Выводы

В работе исследована изменчивость урожайности озимой пшеницы в субъектах европейской части России. Коэффициенты вариации урожайности на преобладающей территории за период 2001–2019 гг. составляли от 25 до 35%. Основной причиной снижения урожайности на рассмотренной территории являются засухи; для характеристики их интенсивности в работе использовался гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК). Анализ построенных трендов урожайности озимой пшеницы выявил более существенный рост урожайности в субъектах западной половины территории. Было показано, что одной из основных причин более медленного роста урожайности в субъектах восточной половины территории является увеличение повторяемости сильных ($\text{ГТК} \leq 0,60$) и средних ($\text{ГТК} \leq 0,61 - 0,80$) засух в мае–июне в 2005–2019 гг. по сравнению с 1990–2004 гг. Для разработки метода прогноза урожайности озимой пшеницы в основной срок, принятый в Росгидромете (третья декада мая), на основе рассчитанных корреляционных матриц исследовалась теснота связей средней по субъектам урожайности со средней месячной температурой воздуха, количеством осадков и гидротермическим коэффициентом увлажнения по месяцам вегетационного периода – апрель–июль (при этом для прогнозов в указанный срок использовались данные за апрель–май). В условиях недостаточности данных наземных наблюдений исследовалась возможность использования спутниковых данных (NDVI). Для учёта особенностей динамики NDVI в онтогенезе озимой пшеницы на различных территориях были рассчитаны средние многолетние значения NDVI за период 2001–2019 гг. и показана их динамика в субъектах по неделям весенне-летней вегетации. Сравнение временного хода «нормы» NDVI с текущими значениями этого показателя в конкретные годы позволяет более качественно оценить состояние посевов озимой пшеницы, что особенно важно в оперативной работе агрометеорологов в годы засух. В работе показано существенное различие динамики NDVI в годы, разные по интенсивности засух (2010 г. и 2012 г.). На основе установленной тесноты связей NDVI с урожайностью озимой пшеницы

по неделям вегетации определены периоды возможного эффективного использования этого показателя в комплексе с метеорологическими факторами для прогнозирования урожайности. Проведенные исследования позволили разработать метод прогноза урожайности озимой пшеницы, основанный на расчёте двух составляющих: детерминированной составляющей, определяемой в основном культурой земледелия и случайной величины, зависящей главным образом от метеорологических условий и состояния посевов в текущем году по данным спутниковой информации (NDVI). Проверка оправдываемости прогнозов за последние пять лет (на зависимом материале) показала, что относительная ошибка прогнозов, составленных по прогностическим моделям с учётом спутниковых данных (NDVI), колебалась в основном от 6 до 15%, а ошибка прогнозов, составленных только по метеорологическим данным, была на 4–7% больше.

Список использованных источников

Барталев С.А., Лупян Е.А., Нестеренко А.А., Савин И.Ю. Возможности использования системы спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель для информационного обеспечения регионов и агропромышленных предприятий // Восьмая всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН. 15-19 ноября 2010. Сборник тезисов конференции, 2010. С. 60-61.

Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Хандожко Л.А., Шаймарданов М.З. Климатическая система и обеспечение гидрометеорологической безопасности жизнедеятельности в России // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 120–129.

Береза О.В., Лупян Е.А., Страшная А.И. О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015, т. 12, № 1, с. 20–35.

Вильфанд Р.М., Береза О.В., Страшная А.И. О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формирования урожая основных зерновых культур // Труды Гидрометцентра России, 2016, вып. 360, с. 45-78.

Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Берёза О.В., Хан В.М., Тарасова Л.Л., Павлова В.Н. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство) (под редакцией Р.С.-Х.Эдельгериева). Раздел 4 Региональные и отраслевые проблемы опустынивания, деградации земель и засух в Российской Федерации. – Т. 2. – ООО Издательство МБА Москва, 2019. – С.265–276.

Гордеев А.В., Бутковский В.А. Россия – зерновая держава. М.: ДеЛи принт, 2009. 470 с.

Иванов А.Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России // Земледелие № 1. 2009. С. 3–5

Клещенко А.Д. Современные проблемы мониторинга засух // Труды ВНИИСХМ. – 2000. – Вып. 33. – С. 3–13.

Клещенко, А.Д. Использование спутниковой информации Modis в оперативной агрометеорологии / А.Д. Клещенко, В.М. Лебедева, Т.А. Найдина О.В. Савицкая // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. С. 143–154

Лупян Е.А., Барталев С.А., Савин И.Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // Аэрокосмический курьер. 2009. № 6. С. 47-49.

Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. № 1. С. 190–198.

Моисейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур // Л.: Гидрометеиздат, 1975. 295 с.

Плотников Д.Е., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А. Оценка точности выявления посевов озимых культур в весенне-летний период вегетации по данным прибора MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 4. С. 132-145. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-132-145.

Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Хвостиков С.А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т.7. № 3. С. 275-285.

Самофалова Н.Е., Дубинина О.А., Самофалов А.П., Иличкина Н.П. Роль метеофакторов в формировании продуктивности озимой твердой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2019. № 5. С. 18-23.

Сторчак И.Г., Ф.В. Ерошенко Использование NDVI для оценки продуктивности озимой пшеницы в Ставропольском крае // Земледелие. № 7. – 2014 – С. 12-15.

Страшная А.И., Коренкова Н.В. О засушливости в Среднем Поволжье и ее влиянии на урожайность яровой пшеницы // Труды Гидрометцентра России, 2005, вып. 340, с. 25–34.

Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Труды Гидрометцентра России, 2011, вып. 345, с. 194–214.

Страшная А.И., Барталев С.А., Максименкова Т.А., Чуб О.В., Толпин В.А., Плотников Д.Е., Богомолова Н.А. Агрометеорологическая оценка состояния озимых зерновых культур в период прекращения вегетации с использованием наземных и спутниковых данных на примере Приволжского федерального округа // Труды ГМЦ, 2014, вып. 351, с. 85–107.

Толпин В.А., Лупян Е.А., Барталев С.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М. Возможности анализа состояния сельскохозяйственной растительности с использованием спутникового сервиса «ВЕГА» // Оптика атмосферы и океана, 2014. Т. 27. № 7 (306). С. 581-586.

Уланова Е.С., Страшная А.И. Засухи в России и их влияние на производство зерна // Труды ВНИИСХМ. 2000. Вып. 32. С. 64-83.

Фролов А.В., Страшная А.И. О засухе 2010 года и ее влиянии на урожайность зерновых культур // Сборник докладов совместного заседания Президиума Научно-технического совета Росгидромета и Научного совета РАН «Исследования по теории климата Земли». М.: Триада лтд, 2011. С. 22–31.

Якушев В.П., Жуковский Е.Е. Анализ последствий изменения климата в земледелии как задача оценки и сравнения рисков // Агрофизика. 2011. № 4. С. 24–39

Strasnaya A., Maksimenkova T., Chub O. Grain Yield Prediction in the Russian Federation // Use of Satellite and In-Situ Data to Improve Sustainability. – Springer, Netherlands. 2010. P. 93–97.

Kogan F., Gitelson A., Zakarin E., Spivak L., Lebed L. AVHRR-based spectral vegetation index for quantitative assessment of vegetation state and productivity: Calibration and validation // Photogrammetric engineering and remote sensing. 2003. Vol. 69(8). pp. 899–906.

Salinger J., Sivakumar M.V.K., Motha R.P Increasing Climate Variability and Change // Reducing the Vulnerability of Agriculture and Forestry // Springer, 2005, p. 358.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ КАК ОСНОВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕЛИОРАТИВНОМ ПРЕЦИЗИОННОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

В. В. Терлеев¹, Р. С. Гиневский¹, В. А. Лазарев¹, А. Г. Топаж²

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия;*

²*ООО «Бюро Гиперборея»,*

ул. Подвойского, 40-2, Санкт-Петербург, 193312, Россия

Предложено функциональное описание гидрофизических свойств почвы. Проведен сравнительный анализ трех систем функций на примере оценки относительной гидравлической проводимости с использованием параметров, идентифицированных путем точечной аппроксимации опытных данных о водоудерживающей способности почвы «3402 *Gilat loam*» из каталога Муалема. Проверка достоверности различий между погрешностями функций выполнена с применением критерия Вильямса-Клута.

FUNCTIONAL REPRESENTATION OF SOIL HYDROPHYSICAL PROPERTIES AS A BASE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN MELIORATIVE PRECISION FARMING

V. V. Terleev¹, R. S. Ginevsky¹, V. A. Lazarev¹, A. G. Topaj²

¹*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,*

Polytechnicheskaya, 29, St. Petersburg, 195251, Russia;

²*LLC «Bureau Hyperborea», 40-2, Podvoisky ul., St. Petersburg, 193312, Russia*

Abstract: Modeling the dynamics of soil moisture is an integral part of hydrophysical calculations in solving problems of meliorative precision farming and hydraulic engineering construction. To perform these calculations, it is necessary: firstly, data on the hydrophysical properties of the soil; secondly, a functional description of these properties. Hydrophysical properties include: water retention capacity and hydraulic conductivity of the soil. The measurement of these properties is problematic due to its complexity. A functional description of the hydrophysical properties of the soil is also problematic, since formal approximations cannot be used for this purpose. In this regard, studies aimed at the development of physically founded models that reduce the volume of measurements, as well as adequately describing the hydrophysical properties of the soil, are very relevant. Three systems of hydrophysical functions are presented that describe the water retention capacity and hydraulic conductivity of the soil. The first system is formed by the functions that are used in the Mualem-Van Genuchten method. The description of the second and third systems is based on the concept of soil as a capillary-porous medium. A set of quantitative relations is obtained which in a particular case (when the additive parameter is equal to zero) generate well-known models of the hydrophysical properties of the soil. A physical and statistical interpretation of the parameters of the second and third systems is given. As part of a computational experiment, a comparative analysis of three systems was performed. During this experiment, using the method of point approximation of experimental data on the water retention capacity of “3402 *Gilat loam*” from the Mualem's catalog, parameters were identified that were then used to calculate the relative hydraulic conductivity (the ratio of

the hydraulic conductivity of the soil to the moisture filtration coefficient). Validation of the differences between the errors of the three systems with respect to the point approximation of experimental data on water retention capacity and regarding estimates of the relative hydraulic conductivity of the soil was performed using the Williams-Klout criterion. The advantages of the second and third systems over the first system of hydrophysical functions of the soil are revealed.

Key words: soil, water retention capacity, relative hydraulic conductivity, model, point approximation of experimental data, estimates, Williams-Klout criterion.

Введение

В описании гидрофизических свойств почвы используются характеристики: для водоудерживающей способности – зависимость объемной влажности θ [$\text{см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$] от капиллярного давления влаги ψ [$\text{см H}_2\text{O}$]; для гидравлической проводимости – зависимость коэффициента влагопроводности k [$\text{см} \cdot \text{сут}^{-1}$] от ψ или θ . Количественным показателем величины ψ является удельная энергия воды в почве. Удельная энергия, отнесенная к единице объема воды, называется абсолютным давлением воды (АДВ). В гидрофизике почвы его принято измерять в см вод. ст. [$\text{см H}_2\text{O}$], а в качестве условного начала отсчета принято значение АДВ под плоской поверхностью воды, равное нормальному атмосферному давлению (НАД). Если влага смачивает поверхность твердой фазы почвы, то АДВ понижается. В этом случае отклонение АДВ от НАД принимает отрицательные значения, иначе – положительные (классическая формулировка). Отклонение АДВ от НАД в капиллярах называется *добавочным* или *капиллярным давлением воды* (КДВ). Для количественной оценки КДВ применяется формула Лапласа. В зарубежной литературе начала второй половины XX века (например, Brooks, Corey, 1964) КДВ определяется как разность между давлением «несмачиваемой» фазы (почвенного воздуха) и давлением «смачиваемой» фазы (почвенной влаги). Такая величина оказывается равной по абсолютному значению КДВ в классической формулировке, но имеет противоположный знак: здесь обнаруживается противоречие. В гидрофизических расчетах нередко применяются приведенные величины: в этих случаях указанное противоречие не является принципиальным. Однако более предпочтительным в методологическом отношении является определение КДВ

фазы №1 (например, почвенной влаги), граничащей с фазой №2 (например, с почвенным воздухом), как разности, в которой уменьшаемой величиной является абсолютное давление фазы № 1, а вычитаемой величиной – абсолютное давление фазы №2. Такое определение величины ψ согласуется с законом Лапласа.

Зависимости $\theta(\psi)$, $k(\psi)$ или $k(\theta)$ широко используются при моделировании переноса влаги и растворенных веществ в почве (Семенова и др., 1999; Poluektov, Terleev, 2007) для решения задач мелиоративного прецизионного земледелия и гидротехнического строительства (Degtyareva et al., 2016; Nikonorov et al., 2016; Terleev et al., 2016). Однако измерения этих зависимостей отличаются высокой трудоемкостью (Банкин и др., 1988). Поэтому исследования, направленные на создание математических моделей, которые позволяют уменьшить объем таких измерений, являются весьма актуальными (Крылова, Терлеев, 2008). Цель данного исследования – физически обоснованное представление гидрофизических свойств почвы в виде математических функций и их верификация в сравнении с мировыми аналогами.

Теория

Для оценки насыщенности почвы водой используется показатель эффективного влагонасыщения $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$, где θ_s [см³·см⁻³] – объемная влажность насыщения, θ_r [см³·см⁻³] – остаточная объемная влажность. В статье (Терлеев и др., 2017) для описания зависимости $S_e(\psi)$ предлагается соотношение:

$$S_e = \begin{cases} \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{n\sqrt{\pi}}{4} \ln(-\alpha(\psi - \psi_e)) \right), & \psi < \psi_e; \\ 1, & \psi \geq \psi_e, \end{cases} \quad (1)$$

где: $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt$ – дополнительная функция ошибок; $\alpha = -1/(\psi_0 - \psi_e)$ [см H₂O⁻¹]; ψ_e [см H₂O] – КДВ «входа воздуха»; ψ_0 [см H₂O] – КДВ, при котором плотность распределения вероятностей по значениям

случайной величины $\ln((\psi - \psi_e)/(\psi_0 - \psi_e))$ с нулевым генеральным средним и стандартным отклонением σ достигает максимума ($\psi_0 < \psi_e$); $n = 4/(\sigma\sqrt{2\pi})$.

При $\psi_e = 0$ функция (1) сводится к модели Косуги (Kosugi, 1994).

В статье (Терлеев и др., 2017) предлагается непрерывная аппроксимация соотношения (1) в классе элементарных функций:

$$S_e = \begin{cases} (1 + (-\alpha(\psi - \psi_e))^n)^{-1}, & \psi < \psi_e; \\ 1, & \psi \geq \psi_e. \end{cases} \quad (2)$$

При $\psi_e = 0$ функция (2) сводится к модели Хаверкампа и соавторов (Haverkamp et al., 1977).

К числу наиболее известных в мире аналогов соотношений (1) и (2) относится модель, предложенная Ван Генухтенем (Van Genuchten, 1980):

$$S_e = \begin{cases} (1 + (-\alpha\psi)^n)^{-(1-1/n)}, & \psi < 0; \\ 1, & \psi \geq 0, \end{cases} \quad (3)$$

где α [см Н₂O⁻¹] и n – эмпирические параметры ($n > 1$).

В статье (Терлеев и др., 2017) для описания относительной гидравлической проводимости почвы $k(\theta)/k_s$ (k_s [см·сут⁻¹] – коэффициент фильтрации влаги) предлагается соотношение:

$$\frac{k}{k_s} = \begin{cases} \frac{\sqrt{S_e}}{4} \left(\operatorname{erfc} \left(\operatorname{inverfc}(2S_e) + \frac{2}{n\sqrt{\pi}} \right) \right)^2, & \theta < \theta_s; \\ 1, & \theta = \theta_s, \end{cases} \quad (4)$$

где $\operatorname{inverfc}(\operatorname{erfc}(x)) = x$.

При $\psi_e = 0$ функция (4) сводится к модели Косуги (Kosugi, 1996).

В статье (Терлеев и др., 2017) предлагается непрерывная аппроксимация соотношения (4) в классе элементарных функций:

$$\frac{k}{k_s} = \begin{cases} \sqrt{S_e} \left(1 - (1 - S_e^{-1}) \exp\left(\frac{8}{n\pi}\right) \right)^{-2}, & \theta < \theta_s; \\ 1, & \theta = \theta_s. \end{cases} \quad (5)$$

Способ расчета $k(\theta)/k_s$ по формуле Муалема с использованием модели (3) называется методом Муалема-Ван Генухтена. Расчетная формула данного метода имеет вид:

$$\frac{k}{k_s} = \begin{cases} \sqrt{S_e} \left(1 - (1 - S_e^{1/(1-1/n)})^{(1-1/n)} \right)^2, & \theta < \theta_s; \\ 1, & \theta = \theta_s. \end{cases} \quad (6)$$

Функции (1)-(3) обозначим, соответственно: WRC-КТ, WRC-НТ, WRC-VG (WRC – *water retention capacity*). Функции (4)-(6) обозначим, соответственно: RHC-МКТ, RHC-МТ, RHC-MVG (RHC – *relative hydraulic conductivity*). Поскольку перечисленные функции обычно используются попарно, сгруппируем их: система №1 (WRC-VG и RHC-MVG); система №2 (WRC-КТ и RHC-МКТ), система №3 (WRC-НТ и RHC-МТ). Система №1 применяется наиболее широко. При больших значениях экспоненциального параметра n метод Муалема-Ван Генухтена позволяет получить достаточно низкую погрешность оценки $k(\theta)/k_s$ с использованием параметров, которые идентифицированы путем точечной аппроксимации данных $\theta(\psi)$. Но существует проблема малых значений n , при которых метод приводит к сомнительным результатам. Например, для почвы «1006 *Beit Netofa clay*» экспоненциальный параметр n систем № 2 и № 3 не превышает единицы, в отличие от системы № 1, для которой, напомним, действует ограничение $n > 1$. В статье (Терлеев и др., 2017) показано, что системы № 2 и № 3 для этой почвы имеют более низкую погрешность по сравнению с системой № 1. Но оставался открытым вопрос, имеют ли системы № 2 и № 3 преимущества перед системой № 1, когда экспоненциальный параметр n превышает единицу во всех трех системах. Далее приводятся результаты сравнительного анализа трех систем на примере почвы «3402 *Gilat loam*» (Mualem, 1976).

Результаты

В таблице 1 приведены параметры, идентифицированные путем точечной аппроксимации данных $\theta(\psi)$ для почвы «3402 *Gilat loam*», с использованием

программы SoilHydrophysics-v.1.0 (Гиневский и др., 2019). Для всех систем экспоненциальный параметр n оказался больше единицы.

Таблица 1. Параметры трех систем, полученные путем точечной аппроксимации $\theta(\psi)$

Номер системы	$\theta_s,$ см ³ ·см ⁻³	$\theta_r,$ см ³ ·см ⁻³	$\psi_e,$ см вод. ст.	$\alpha,$ см вод.ст. ⁻¹	n
1	0.440	0.084	–	0.0168	2.439
2	0.440	0.091	0	0.0122	2.094
3	0.440	0.090	0	0.0122	2.146

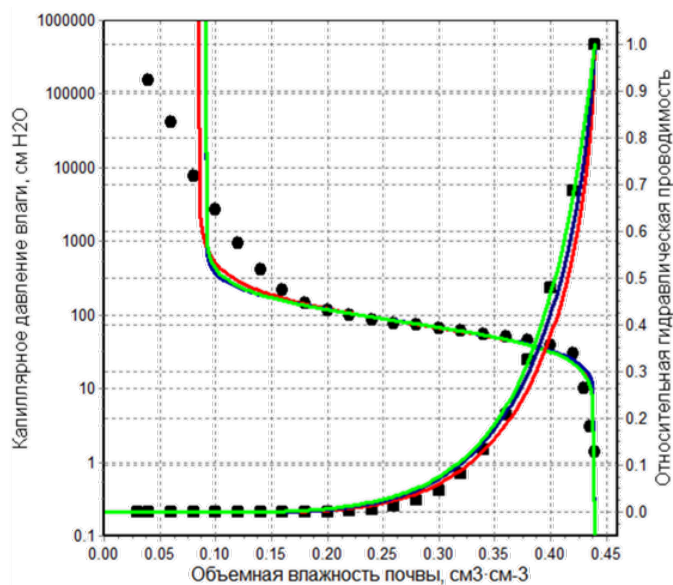


Рис. 1. Точечная аппроксимация $\theta(\psi)$ и оценка $k(\theta)/k_s$.

На рис. 1 кривыми представлены результаты точечной аппроксимации $\theta(\psi)$, а также – оценки $k(\theta)/k_s$; использованы цвета: красный для системы №1, синий для системы №2 и зеленый для системы №3; точками изображены опытные данные. В таблицах 2,3 приведены погрешности точечной аппроксимации $\theta(\psi)$ и погрешности оценок $k(\theta)/k_s$, а также результаты проверки достоверности различий между погрешностями трех систем по критерию Вильмса-Клута (Кобзарь, 2006).

Таблица 2. Погрешности точечной аппроксимации $\theta(\psi)$ и оценок $k(\theta)/k_s$

Корень квадратный из среднего арифметического квадратов отклонений результатов расчета от опытных данных (<i>RMSE – root mean square error</i>)			
Функции	Система №1	Система №2	Система №3
WRC	0.0170	0.0199	0.0191
RHC	0.0391	0.0237	0.0142

Таблица 3. Достоверность различий между погрешностями трех попарно сравниваемых систем в отношении точечной аппроксимации $\theta(\psi)$ и в отношении оценок $k(\theta)/k_s$

$y - (y_1 + y_2)/2 = \lambda(y_1 - y_2)$, где y – опытные данные								
y_1 : WRC-VG, y_2 : WRC-KT			y_1 : WRC-VG, y_2 : WRC-HT			y_1 : WRC-KT, y_2 : WRC-HT		
λ	$\lambda_{0.95}$	$\lambda_{0.975}$	λ	$\lambda_{0.95}$	$\lambda_{0.975}$	λ	$\lambda_{0.95}$	$\lambda_{0.975}$
2.692	1.966	2.375	2.734	2.180	2.633	-7.033	4.507	5.433
y_1 точнее, чем y_2			y_1 точнее, чем y_2			y_2 точнее, чем y_1		
y_1 : RHC-MVG, y_2 : RHC-MKT			y_1 : RHC-MVG, y_2 : RHC-MT			y_1 : RHC-MKT, y_2 : RHC-MT		
λ	$\lambda_{0.95}$	$\lambda_{0.975}$	λ	$\lambda_{0.95}$	$\lambda_{0.975}$	λ	$\lambda_{0.95}$	$\lambda_{0.975}$
-1.662	0.439	0.531	-0.629	0.183	0.222	-0.809	0.361	0.436
y_2 точнее, чем y_1			y_2 точнее, чем y_1			y_2 точнее, чем y_1		

Выводы

1. При значениях экспоненциального параметра $n > 1$ для всех трех систем погрешности систем № 2 и № 3 в отношении оценок $k(\theta)/k_s$ оказались заметно более низкими (при том, что их погрешности в отношении точечной аппроксимации $\theta(\psi)$ оказались несколько выше по сравнению с системой № 1).

2. Параметры систем № 2 и № 3 имеют физико-статистическую интерпретацию, поэтому использование этих систем в гидрофизических расчетах представляются более предпочтительным.

3. Применение систем № 2 и № 3 повышает точность расчета динамики почвенной влаги в задачах мелиоративного прецизионного земледелия и гидротехнического строительства.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-04-00939-а, № 19-016-00148-а.

Список литературы

1. Банкин М.П., Заславский Б.Г., Терлеев В.В. 1988. Автоматизированная система определения влагопроводности почв. Научно-технический бюллетень по агрономической физике. 72:33-36.
2. Гиневский Р.С., Терлеев В.В., Топаж А.Г., Лазарев В.А. 2019. SOILHYDROPHYSICS-V.1.0. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019667106, 19.12.2019. Заявка № 2019662561 от 12.10.2019.
3. Кобзарь А.И. 2006. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. Изд. Физматлит, Москва. 816 с.
4. Крылова И.Ю., Терлеев В.В. 2008. Моделирование гидрологических характеристик почвы. В сборнике: XXXVII Неделя науки СПбГПУ. СПб., С. 277-279.
5. Семенова Н.Н., Новожилов К.В., Петрова Т.М., Терлеев В.В. 1999. Детерминированные модели поведения пестицидов в почве. Методология построения, структура, принципы использования. СПб.: ВИЗР, 92 с.
6. Терлеев В.В., Миршель В., Баденко В.Л., Гусева И.Ю. 2017. Усовершенствованный метод Муалема-Ван Генухтена и его верификация на примере глинистой почвы Бейт Нетофа. Почвоведение. 4:457-467 (DOI: 10.1134/S1064229317040135).
7. Brooks, R.H. and Corey, A.T. 1964. Hydraulic Properties of Porous Media. Hydrology Papers 3, Colorado State University, Fort Collins, 27 p.
8. Degtyareva O., Degtyarev G., Togo I., Terleev V., Nikonorov A., Volkova Yu. 2016. Analysis of stress-strain state rainfall runoff control system – buttress dam. Procedia Engineering. 165:1619-1628.
9. Haverkamp R., Vauclin M., Touma J., Wierenga P.J., Vachaud G. 1977. A comparison of numerical simulation model for one-dimensional infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J. 41:285-294.
10. Kosugi K. 1994. Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention. Water Resour. Res. 30:891-901.
11. Kosugi K. 1996. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. Water Resour. Res. 32:2697-2703.
12. Mualem Y. 1976. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Research Project 442. Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel. 100 p.
13. Nikonorov A., Terleev V., Pavlov S., Togo I., Volkova Yu., Makarova T., Garmanov V., Shishov D., Mirschel W. 2016. Applying the model of soil hydrophysical properties for arrangements of temporary enclosing structures. Procedia Engineering. 165: 1741-1747.
14. Poluektov R.A., Terleev V.V. 2007. Crop simulation model of the second and the third productivity levels. In: Modelling water and nutrient dynamics in soil–crop systems (Proceedings of the workshop). Müncheberg/Germany. P. 75-89.
15. Terleev V., Nikonorov A., Togo I., Volkova Yu., Garmanov V., Shishov D., Pavlova V., Semenova N., Mirschel W. 2016. Modelling the hysteretic water retention capacity of soil for reclamation research as a part of underground development. Procedia Engineering. 165: 1776-1783.
16. Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892-989

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЛОВУШЕК ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО МОНИТОРИНГА ВРЕДИТЕЛЕЙ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР

А. Н. Фролов, А. А. Мильцын

Всероссийский НИИ защиты растений, Россия, Санкт-Петербург – Пушкин

При проведении фитосанитарного мониторинга вредителей широко используются ловушки разнообразных конструкций, среди которых безусловно наиболее популярны феромонные ловушки. Впечатляющий прогресс в развитии светотехники открывает широкие перспективы использования в защите растений светодиодных ловушек. Эффективность отлова вредных чешуекрылых светодиодными ловушками может оказаться как значительно выше, так и существенно ниже такового феромонными ловушками. Данные полевых испытаний подтверждают тезис о том, что для повышения эффективности мониторинга важно применять ловушки различных типов и конструкций.

NEW TRAP DESIGNS FOR EFFECTIVE MONITORING OF FIELD CROP PESTS

A. N. Frolov, A. A. Miltsyn

All-Russian Research Institute of Plant Protection, Russia, St. Petersburg – Pushkin

The advantages of pheromone traps for pest monitoring are their low cost, mobility, ease of installation in the wanted places and selectivity of action. Until recently the widespread use of light traps as a technical monitoring tool has been hindered by cumbersome and low mobility, dependence on a powerful power supply. The development of LED and microcontroller technology, while reducing the power consumption of these devices, made it possible to overcome the above disadvantages and create mobile programmable devices that can work in autonomous mode for several days. We proposed an Atracoon type design that is distinguished by the fact that it contains a housing made of transparent, durable, waterproof material, a mat with a sticky layer and an electronic unit that includes batteries, a photo sensor, an LED emitter equipped with two light emitting diodes waves of 365-370 nm in opposite directions from each other along the body of the trap (Miltsyn et al., 2020). Trap tests were carried out in 2019 on maize fields in three points of the Krasnodar Territory. As a standard, cardboard Atracoon traps equipped with synthetic sex pheromones manufactured by JSC Shchelkovo Agrochem were used. Catching the adult of the European corn borer *Ostrinia nubilalis* Hbn. per one LED trap per generation was 3.7-12.1 times higher than that for a set of three traps equipped with sexual pheromones specific to attract individuals Z (97% Z11–3% E11–14:OAc), E (1% Z11–99% E11–14:OAc) races and F₁ (ZE) hybrids between them (35% Z11–65% E11–14:OAc). On the other hand, traps equipped with the sex pheromone of corn earworm, *Helicoverpa armigera* Hbn., attract pest adults significantly more (14.6–33.5 times) than LED ones. Thus, the effectiveness of monitoring certain species of harmful Lepidoptera by LED traps may be significantly higher or significantly lower than that of pheromone traps. The results obtained confirm the thesis that the systematic use of traps of various types and designs undoubtedly contributes to improving the monitoring efficiency. In connection with the above, VIZR is currently testing the original design of the combined light-pheromone trap.

Фитосанитарный мониторинг — ключевой элемент интегрированной защиты растений, т.е. системы мероприятий, направленных на снижение численности вредных организмов в агробиоценозах до экономически неощутимого уровня, который включает комплекс технологических решений, позволяющих своевременно обнаруживать появление вредных организмов, выявлять очаги их размножения, наблюдать за сезонной и многолетней динамикой популяций (Павлюшин, 2010). В целях достижения максимальной точности и достоверности фитосанитарной информации при мониторинге вредных насекомых используют различные по принципам действия (привлечения и фиксации живого материала) и конструктивным особенностям ловушки (Wall, 1990). Известны ловушки наземного и воздушного размещения, снабженные приманкой или лишенные таковой, различающиеся способом приманивания и фиксации объекта мониторинга. Соответственно, в зависимости от видовой принадлежности энтомологического объекта применяют самые разные устройства: волокуши, биоценометры, ловчие пояса и конусы, оконные, световые, клейкие, пищевые, цветные, палаточные и всасывающие ловушки, термо- и фотоэлектроды, и т.п. (Голуб и др., 2012).

В последние десятилетия в работах по мониторингу насекомых наиболее широко используются феромонные ловушки, где в качестве приманки могут выступать агрегационные, следовые, пищевые или иные аттрактанты, но значительно чаще таковыми служат половые феромоны, призванные обеспечивать нахождение полового партнера особью противоположного пола в период размножения. Неоспоримыми достоинствами феромонных ловушек являются их дешевизна, мобильность, легкость установки в нужных местах и избирательность действия (Srivastava, Srivastava, 1989). Последнее обстоятельство осложняет проведение мониторинга комплекса вредных видов — возникает необходимость установки набора ловушек, снабженных специфическими феромонами. Более того, поскольку в подавляющем большинстве случаев половой феромон выделяют самки с целью привлечения особей мужского пола, то ловушки, снабженные синтетическим аналогом

полового феромона, будут отлавливать лишь самцов, ценность которых с точки зрения мониторинга существенно ниже, чем таковая самок. Последнее очевидно, т.к. непосредственно судить о потенциале размножения объекта мониторинга и, соответственно уровне ожидаемых потерь сельскохозяйственной продукции от его вредоносной деятельности, позволяют лишь данные по численности и яйцепродукции пойманных самок. Оценивать потенциал размножения популяции по численности отловленных самцов можно лишь опосредованно и точность оценки будет зависеть от того, насколько тесно численность отловленных самцов коррелирует с плотностью отложенных яиц и результирующей поврежденностью растений дочерним поколением вредителя. Корреляция эта может быть весьма невысокой, поскольку поиск самцами самок для спаривания и отыскивание осемененными самками мест для откладки яиц — процессы, разнесенные как во времени, так и в пространстве. И основной вопрос, имеющий непосредственное отношение к защите растений, состоит в том, насколько существенны они разнесены. Так или иначе, случаи, когда феромонные ловушки оказывались слабо или вообще неэффективными для применения в качестве средства мониторинга и краткосрочного прогноза уровня заселенности посевов вредителем, обсуждаются в литературе (Cizej, Persolja, 2013; Фролов, Рябчинская, 2018).

В отличие от феромонных световые ловушки привлекают особей обоих полов, хотя нередко в отловах отмечается численное преобладание самцов над самками (Горностаев, 1984; Nowinszky, Puskás, 2015). Светоловушки издавна используются в качестве технического средства мониторинга вредных насекомых, в первую очередь тех, для которых характерна сумеречная или ночная лётная активность (Терсков, Коломиец, 1966). До недавнего времени широкому применению световых ловушек для целей мониторинга препятствовали их громоздкость и низкая мобильность, зависимость от мощного источника электропитания. В последние годы в светотехнике начали широко применяться светодиоды, которые отличаются высокой эффективностью, малыми размерами и длительным сроком службы (Schubert, 2006). Развитие

светодиодной и микроконтроллерной техники с одновременным снижением энергопотребления этих устройств позволило преодолеть вышеописанные недостатки световых ловушек и создать мобильные программируемые устройства, способные работать в автономном программном режиме без смены источников питания до нескольких суток. Широкие перспективы применения светодиодов в защите растений очевидны (Cohnstaedt et al., 2008; Возмилов и др., 2010; Исмаилов и др., 2012, 2016; Суринский, 2014; Park, Lee, 2017; Kim et al., 2019 и др.), однако примеров практического их применения в защите растений пока еще не слишком много (Ahuja et al., 2012; Stukenberg et al., 2015; Грушевая и др., 2019). В целях повышения эффективности мониторинга, в первую очередь вредных представителей *Microlepidoptera*, нами (Мильцын и др., 2020) была предложена конструкция световой ловушки, которая отличается тем, что содержит корпус из прозрачного долговечного водостойкого материала, коврик с липким слоем и электронный блок, включающий элементы питания, фотодатчик, светодиодный излучатель, снабженный двумя светодиодами, испускающих свет длиной волны 365–370 нМ в противоположные стороны друг от друга вдоль корпуса ловушки. Технические характеристики ловушки включают: 6 аккумуляторов 1,2 В, 2200 мА/час в качестве источника питания, 2 светодиода мощностью 3 Вт как источник УФ света длиной волны 365–370 нМ, микроконтроллер *Attiny 13A* как управляющее устройство. Устройство позволяет автоматически перепрограммировать порог срабатывания ловушки при энергонезависимом хранении программы и данных настройки. Совокупность перечисленных отличительных признаков обеспечивает как высокий привлекающий насекомых эффект, так и упрощает обслуживание ловушки.

Испытания ловушки проведены сотрудниками лаборатории сельскохозяйственной энтомологии ВИЗР на посевах кукурузы в трех пунктах Краснодарского края — в окр. пос. Ботаника Гулькевичского р-на, ст. Курчанской Темрюкского р-на и хут. Слободка Славянского р-на в 2019 г. В качестве эталона использовали стандартные ловушки производства АО Щелково

Агротим, снабженные синтетическими половыми феромонами. Отлов имаго кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* Hbn. в расчете на одну светодиодную ловушку за поколение оказался в 3.7–12.1 раз выше такового на комплект из трех ловушек, снабженных половыми феромонами, специфичными для привлечения особей Z (97 % Z11–:3 % E11–14:OAc), E (1 % Z11–:99 % E11–14:OAc) рас и гибридов F1 (ZE) между ними (35 % Z11–:65 % E11–14:OAc) (Грушевая и др., 2019). С другой стороны, ловушки, снабженные половым феромоном хлопковой совки *Helicoverpa armigera* Hbn., отлавливали существенно больше (в 14.6–33.5 раз) имаго этого вредителя, чем светодиодные. Таким образом, эффективность мониторинга тех или иных видов вредных чешуекрылых светодиодными ловушками может оказаться как значительно выше, так и существенно ниже такового феромонных ловушек.

Побочным негативным следствием от применения световых ловушек может явиться световое загрязнение территории (Pawson, Bader, 2014), которое в т.ч. способно вызывать гибель значительного количества представителей полезной энтомофауны (Кремнева и др., 2019, и др.). Впрочем, этот негативный эффект минимизируется особенностями конструкции ловушки и грамотным ее размещением на посевах (Bian et al., 2018). Полученные результаты подтверждают тезис о том, что системное применение ловушек разных типов и конструкций несомненно способствует повышению эффективности мониторинга (Delisle et al., 1998). В настоящее время в ВИЗР ведутся испытания оригинальной светоферомонной ловушки, основанием для разработки которой послужили результаты исследований, свидетельствующие о положительном эффекте совместного действия светодиодов и полового феромона на аттрактивность ряда энтомологических объектов (Miyatake et al., 2016; Otieno et al., 2018).

Работа поддержана РФФИ (грант № 19-016-00128).

Список литературы

- Возмилов А.Г., Суринский Д.О., Дюрягин А.Ю. Светоловушка для проведения мониторинга численности насекомых на основе фотоэлектрических преобразователей и светодиодов. // Вестник Челябинской гос. агроинж. академии. 2010. № 57. С. 27–30.
- Голуб В.Б., Цуриков М.Н., Прокин А.А. Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала. М: Тов-во научных изд. КМК, 2012. 339 с.
- Горностаев Г.Н. Введение в этологию насекомых-фотоксенов (лёт насекомых на искусственные источники света). В кн.: Этология насекомых (Тр. ВЭО, т. 66). Л.: Наука, 1984. С. 101–167.
- Грушевая И.В., Конончук А.Г., Малыш С.М., Мильцын А.А., Фролов А.Н. Светодиодная ловушка для мониторинга кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* Hbn.: первые испытания в Краснодарском крае. // Вестник защиты растений. 2019. № 4. С. 49–54.
- Исмаилов В.Я., Пачкин А.А., Садковский В.Т., Соколов Ю.Г. Перспективы применения сверхярких светодиодов в ловушках насекомых // В кн.: Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем. Выпуск 7. Краснодар: ВНИИБЗР, 2012. С. 224–228.
- Исмаилов В.Я., Садковский В.Т., Соколов Ю.Г., Шумилов Ю.В., Мкртчян А.Г. Опыт разработки ловушек насекомых с использованием сверхярких светодиодов // В кн.: Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Выпуск 9. Краснодар: ВНИИБЗР, 2016. С. 45–50.
- Кремнева О.Ю., Садковский В.Т., Соколов Ю.Г., Исмаилов В.Я., Данилов Р.Ю. Оценка эффективности ловушек насекомых различных конструкций для фитосанитарного мониторинга // Зерновое хоз-во России. 2019. № 1(61). С. 52–55.
- Мильцын А.А., Грушевая И.В., Конончук А.Г., Малыш Ю.М., Токарев Ю.С., Фролов А.Н. Световая ловушка для мониторинга насекомых. Патент на полезную модель RU 195732 U1, 04.02.2020. Заявка № 2019131861 от 09.10.2019.
- Павлюшин В.А. Научное обеспечение защиты растений и продовольственная безопасность России // Защита и карантин растений. 2010. № 2. С. 11–15.
- Суринский Д.О. Результаты экспериментальных исследований устройства для мониторинга насекомых-вредителей. // Вестник Красноярского гос. аграрного ун-та. 2014. № 12. С. 208–214.
- Терсков И.А., Коломиец Н.Г. Световые ловушки и их использование в защите растений. М.: Наука, 1966. 146 с.
- Фролов А.Н., Рябчинская Т.А. К вопросу о причинах низкой аттрактивности синтетических феромонов кукурузного мотылька в новых северных очагах вредоносности насекомого на кукурузе. // Вестник защиты растений. 2018. № 1. С. 1–7.
- Ahuja D.B., Ahuja U.R., Srinivas P., Singh R.V., Malik M., Sharma P., Bamawale O.M. Development of farmer-led integrated management of major pests of cauliflower cultivated in rainy season in India. // J. Agric. Sci. 2012. V. 4, N 2. P. 79–90.
- Bian L., Cai X. M., Luo Z. X., Li Z. Q., Chen Z. M. Decreased capture of natural enemies of pests in light traps with light-emitting diode technology. // Ann. App. Biol. 2018. V. 173, N 3. P. 251–260.
- Cizej R.M., Persolja J. The methods of monitoring and management the European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) in Slovenian hop garden. // In: International Hop Growers' Convention. Proceedings of the Scientific Commission, Kiev, Ukraine, 04–09 June 2013. P. 69–72.
- Cohnstaedt L.E.E., Gillen J.I., Munstermann L.E. Light-emitting diode technology improves insect trapping. // J. Amer. Mosquito Control Association. 2008. V. 24, N 2. P. 331–334.
- Delisle J., West R. J., Bowers W.W. The relative performance of pheromone and light traps in monitoring the seasonal activity of both sexes of the eastern hemlock looper, *Lambdina fiscellaria fiscellaria*. // Entomol. exp. et appl. 1998. V. 89, N 1. P. 87–98.

Katsuki M., Omae Y., Okada K., Kamura T., Matsuyama T., Haraguchi D., Kohama T., Miyatake T. Ultraviolet light-emitting diode (UV LED) trap the West Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* (Coleoptera: Curculionidae). // *App. Entomol. Zool.* 2012. V. 47, N 3. P. 285–290.

Kim K.N., Huang Q.Y., Lei C.L. Advances in insect phototaxis and application to pest management: a review. // *Pest Manag. Sci.* 2019. V. 75, N 12. P. 3135–3143.

Miyatake T., Yokoi T., Fuchikawa T., Korehisa N., Kamura T., Nanba K., Ryouji S., Kamioka N., Hironaka M., Osada M., Hariyama T., Sasaki R., Shinoda K. Monitoring and detecting the cigarette beetle (Coleoptera: Anobiidae) using ultraviolet (LED) direct and reflected lights and/or pheromone traps in a laboratory and a storehouse. // *J. Econ. Entomol.* 2016. V. 109, N 6. P. 2551–2560.

Nowinszky L., Puskás J. Sex ratio analysis of some Macrolepidoptera species collected by Hungarian forestry light traps. // *Acta Silv. Lignaria Hung.* 2015. V. 11, N 2. P. 99–110.

Otieno J.A., Stukenberg N., Weller J., Poehling H.M. Efficacy of LED-enhanced blue sticky traps combined with the synthetic lure Lurem-TR for trapping of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*). // *J. Pest Sci.* 2018. V. 91, N 4. P. 1301–1314.

Park J.H., Lee H.S. Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs). // *Appl. Biol. Chem.* 2017. V. 60, N 2. P. 137–144.

Pawson S.M., Bader M.F. LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature. // *Ecol. Appl.* 2014. V. 24, N 7. P. 1561–1568.

Schubert E.F. Light-emitting diodes. 2nd edition. Cambridge Univ. Press, 2006. 422 p.

Srivastava C.P., Srivastava R.P. Comparison of *Heliothis armigera* (Hubner) male moth catches in light and pheromone traps at Udaipur, Rajasthan, India. // *Int. J. Trop. Insect Sci.* 1989. V. 10, N 5. P. 565–568.

Stukenberg N., Gebauer K., Poehling H.M. Light emitting diode (LED)-based trapping of the greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*). // *J. Appl. Entomol.* 2015. V. 139, N 4. P. 268–279.

Wall C. Principles of monitoring. // In: Behavior-modifying chemicals for insect management. In: Applications of pheromones and other attractants. Ridgway R.L., Silverstein R.M., Inscoc M.N., eds. Marcel Dekker Inc., New York & Basel, 1990. P. 9–23.

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Т. А. Щеголихина

*ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и
технико-экономических исследований по инженерно-техническому
обеспечению агропромышленного комплекса»
(ФГБНУ «Росинформагротех»)*

В статье представлены общие сведения о геоинформационных системах (ГИС), основные термины и понятия, описание некоторых ГИС, используемых в АПК. Области применения геоинформационных технологий в сельском хозяйстве связаны с хранением и обработкой картографической, атрибутивной, графической и текстовой информации. ГИС содержит многослойные цифровые карты и атрибутивные таблицы данных, характеризующие структурные составляющие хозяйства (космические снимки, слои гидрографии, дорожной сети, населенных пунктов, рельефа местности, сведения о микроклимате, уровне грунтовых вод, состоянии почв, посевных площадях за весь период наблюдений).

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN AGRICULTURE

T. A. Shchegolikhina

*FGBNU «Research Institute of Information and Feasibility Study on Engineering
Support of Agribusiness»
(FGBNU «Rosinformagrotekh»)*

The article provides general information about geographic information systems (GIS), basic terms and concepts, a description of some GIS used in the agricultural sector. Fields of application of geographic information technologies in agriculture are associated with the storage and processing of cartographic, attributive, graphic and textual information. A GIS contains multilayer digital maps and attributive data tables characterizing the structural components of the economy (satellite images, layers of hydrography, road network, settlements, terrain, information about the microclimate, groundwater level, soil condition, sown area for the entire observation period).

Выполнение сельскохозяйственных операций с применением технологий точного земледелия требует получения и совокупного использования различной информации, связанной с изменением погодных условий, заболеваниями и вредителями сельскохозяйственных растений, их обеспеченностью основными питательными веществами, наличием сорной растительности и прочих факторов. Получение этих данных возможно с использованием географических информационных систем (ГИС), позволяющих создавать базы данных с пространственной и семантической информацией. Геоинформационные технологии – совокупность приемов, способов и методов применения программно-технических средств обработки и передачи информации,

позволяющих реализовать функциональные возможности геоинформационных систем (ГОСТ Р 52438-205, 2006). Они объединяют в себе методы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), анализа и дешифрирования геоинформации, цифровой обработки изображений, системы управления базами данных (СУБД), глобального позиционирования (GPS), картографирования, интернет-технологии. Применяются для составления тематических карт конкретного хозяйства (карты использования земель, уклонов и экспозиций склонов, типов и характеристик почв, агрохимических данных, текущего состояния растений, урожайности и др.), на основе анализа которых дается оценка агроклиматических условий данного хозяйства, необходимости внесения удобрений и возможности выращивания конкретной сельскохозяйственной культуры. Задачи, выполняемые информационными системами на базе геоинформационных технологий, можно объединить в следующие блоки (рисунок 1).

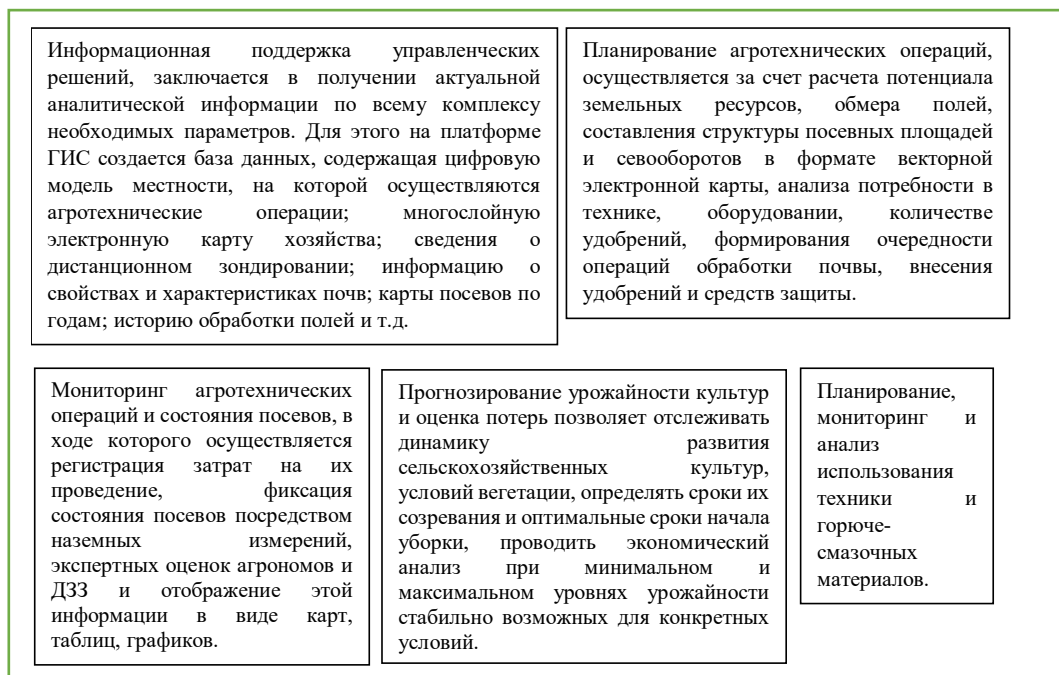


Рис. 1. Задачи ГИС

Обязательными модулями геоинформационной системы являются графические и тематические базы данных; система ввода и хранения данных; преобразование систем координат и трансформация картографических проекций; система управления, анализа и моделирования, система вывода и

предоставления данных; взаимодействие с пользователем (рисунок 2) (Федоренко и др., 2019).

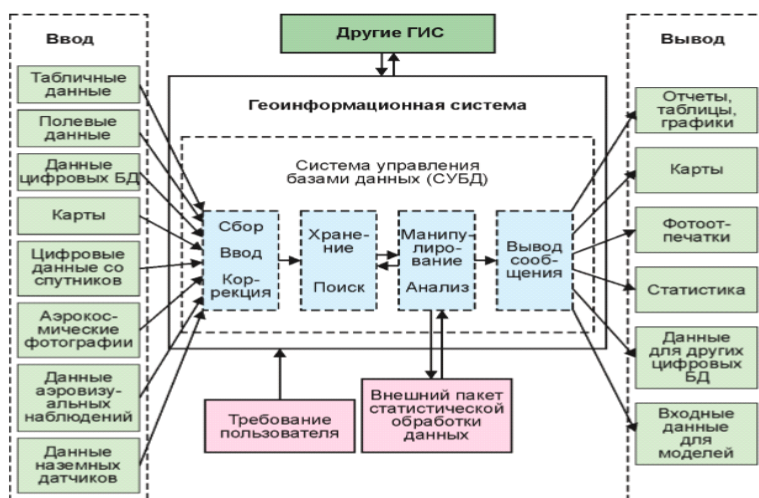


Рис. 2. Схема функционирования ГИС

Для технического обеспечения ГИС используются рабочая станция или персональный компьютер (ПК), устройства ввода-вывода информации, устройства обработки и хранения данных, средства телекоммуникации. Пространственные данные могут быть получены электронными геодезическими приборами, непосредственно с помощью дигитайзера и сканера, либо по результатам обработки снимков на аналитических фотограмметрических приборах или цифровых фотограмметрических станциях. Устройства вывода данных должны обеспечивать наглядное представление результатов на мониторе, а также в виде графических оригиналов (Калинин и др., 2018). Программное обеспечение ГИС представляет собой сочетание взаимосвязанных программных модулей, обеспечивающих выполнение основных функций (создание электронных карт обследуемых полей, ведение базы данных, отображение текущих географических координат, навигация в заданную точку, отображение длины, расстояний, площади геообъектов и др. (Щеголихина, Гольдяпин, 2014). Совокупность массивов информации, систем кодирования и классификации информации является информационным обеспечением ГИС, содержащим реализованные решения по видам, объемам, размещению и формам

организации информации, включая поиск и оценку источников данных, набор методов ввода данных, проектирование баз данных (Калинин и др., 2018).

По содержанию экономических характеристик и масштабам хозяйственной деятельности в сельском хозяйстве различаются три уровня управления: федеральный, региональный и местный (вплоть до отдельного хозяйства), на каждом из которых возможно использование геоинформационных систем. На федеральном и региональном уровнях актуальными задачами являются – выработка сельскохозяйственной политики, лицензирование, контроль производства, прогнозирование валового сбора различных культур, мониторинг природных условий и использования земель, создание кадастра сельскохозяйственных земель, осуществление стратегического планирования, контроль информации, поступающей «снизу». (Фарбер, Вараксин, 2013). При этом используются обобщенные данные с мест и данные космической съемки. Характеристика некоторых отечественных ГИС, используемых в агропромышленном комплексе приведена в таблице (Бутрова и др., 2019; Сальников и др., 2019). Кроме специальных сельскохозяйственных ГИС в некоторых региональных ГИС и геопорталах реализованы тематические слои, посвящённые сельскому хозяйству, например, в ГИС Челябинской области, ГИС АПК Самарской области и др. Также существует группа сервисов, являющихся набором инструментальных программных средств, предназначенных для формирования баз данных различных характеристик полей на основе ГИС, («ГрадоСервис», ГИС «Полис-5», «ГИС для сельского хозяйства», ИАС «ГЕО-Агро» и др.).

Таблица. Характеристика некоторых ГИС, используемых в АПК

Название ГИС	Назначение
<p>ГИС мониторинга земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области (группа компаний «Datum group», г. Ростов-на-Дону)</p>	<p>Предоставляет возможность находить данные по полям региона через электронную карту, следить за состоянием посевов на разных стадиях в онлайн-режиме, рассчитывать индекс NDVI по снимкам с космических аппаратов и прогнозировать урожайность каждой сельскохозяйственной культуры в разрезе как отдельного поля, так и района, и региона в целом</p>
<p>ГИС «Геоаналитика.Агро» (компания «Совзонд», г. Москва)</p>	<p>Предоставляет доступ к двум категориям продуктов анализа сельскохозяйственных культур:</p> <ul style="list-style-type: none"> - «Параметры роста», позволяет охарактеризовать объём и прирост биомассы, содержание азота, хлорофилла и влаги в листьях растений, а также интенсивность поглощения фотосинтетически активной радиации; - «Оценка состояния» является производным продуктом, предназначенным для выделения зон с различной интенсивностью вегетации в пределах поля. <p>Обеспечивает пространственной информацией со спутников Landsat-8, Sentinel-1 и Sentinel-2, с сервиса RapidEye, агрометеорологической информацией для оперативного анализа в аграрной сфере. Доступ к сервису предоставляется через веб-интерфейс и через API, что позволяет встраивать «Геоаналитику.Агро» в качестве компонента комплексных информационно-аналитических систем частных компаний и органов государственной власти.</p>
<p>Облачная ГИС «КосмосАгро», (группа компаний «СканЭкс», г. Москва)</p>	<p>Позволяет осуществлять контроль и управление сельскохозяйственным производством на федеральном и региональном уровне; оперативно контролировать состояние посевов, проведение агротехнических мероприятий, своевременно определять наступление неблагоприятных явлений, определять нанесенный ими ущерб, принимать управленческие решения; определять перспективы страхования, рассматривать страховые случаи, оценивать риски; оценивать стабильность производства, эффективность использования финансовых средств, принимать решения о возможности кредитования и субсидирования.</p> <p>В основе геосервиса лежит технология полностью автоматизированного тематического анализа материалов космической съемки. Все результаты работы сервиса отображаются на карте и оформляются в виде отчетных материалов, накапливая статистическую информацию о состоянии посевов. В качестве исходных данных могут быть использованы любые снимки по желанию заказчика.</p>

Название ГИС	Назначение
ГИС «АгроУправление», Сервис «АгроТехнология», (компания «ЦентрПрограммСистем», г. Белгород)	Проводит обработку и анализ снимков с получением NDVI, составление карт, интеграцию с сервисами дистанционного зондирования Земли, сервисами, предоставляющими информацию о развитии сельскохозяйственных культур по вегетационному индексу растительности, метеорологическими сервисами, сервисами информации о пожарах. Связывает пространственную информацию сельскохозяйственных угодий с базами данных хозяйств для учетных задач в агрономии, транспорте, механизации, бухгалтерии за счет интеграции ГИС с продуктами «1С: Предприятие 8» и GeoServer.
ГИС «Панорама-Агро», (АО КБ «Панорама», г. Москва)	Предназначена для комплексной автоматизации управления растениеводством, обеспечивает решение двух взаимосвязанных задач: управление аграрными технологиями и мониторинг подвижных технических средств компании на основе GPS/ГЛОНАСС навигации. Программное обеспечение позволяет обрабатывать мультиспектральные снимки, привязывать их к полям и создавать карты неоднородности по индексу биомассы. Обеспечивает ведение базы нормативно-справочной документации, агрохимического мониторинга сельскохозяйственных угодий, учет сельскохозяйственных угодий с привязкой к карте, обработку навигационных данных и контроль перемещений техники, планирование и учет фактических работ.
ГИС «Точный фермер», («Информтех», г. Махачкала)	Обеспечивает сбор, преобразование, хранение и анализ данных о собранном урожае и аналитические функции для планирования будущей деятельности. Проводит обработку и анализ данных, полученных в процессе работы сельскохозяйственных машин, построение карт урожая, создание карт дифференцированного распыления удобрений, получение граничных карт поля, расчет статистических характеристик карты сельхоз угодья и проведение сравнительного анализа карт.

Использование геоинформационных систем помогает в сравнительно небольшие сроки повысить эффективность работы сельхозпредприятия. Несмотря на достаточно длительный срок с начала внедрения ГИС-технологий, их использование в агропромышленном комплексе России не повсеместно, что влечет отставание российских сельхозпроизводителей от уровня европейских стран, где использование ГИС-приложений в сельском хозяйстве является привычным компонентом в системе управления хозяйством.

С целью сокращения отставания по производительности труда, урожайности и другим показателям от стран с традиционно развитым сельским хозяйством Министерством сельского хозяйства Российской Федерации

предлагается ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство», в рамках которого предусмотрен комплекс мероприятий по внедрению цифровых технологий и платформенных решений в АПК. Данный проект направлен на создание и развитие национальной платформы цифрового государственного управления сельским хозяйством «Цифровое сельское хозяйство», интегрированной с другими субплатформами для управления сельским хозяйством на региональном и муниципальном уровнях, модуля «Агрорешения», отраслевой электронной образовательной среды «Земля знаний». В совокупности данные сервисы аккумулируют весь массив информации о производственных процессах в области сельского хозяйства и будут способствовать внедрению цифровых решений в агропромышленный комплекс страны.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52438-205. Географические информационные системы. Термины и определения. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006. 16 с.
2. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Буклагин Д.С., Гольтяпин В.Я., Голубев И.Г. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 316 с.
3. Калинин А.А., Бондаренко А.М., Строгий Б.Н., Семенцов М.Н. Географические информационные системы. Зеленоград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. 58 с.
4. Щеголихина Т.А., Гольтяпин В.Я. Современные технологии и оборудование для систем точного земледелия. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 80 с.
5. Фарбер С.К., Вараксин Г.С., Байкалов Е.М. Геоинформационные системы в сельском хозяйстве России // Вестник КрасГАУ. 2013. № 3 С. 103–106.
6. Бутрова Е. В., Меденников В. И., Кокуйцева Т. В., Ковков Д. В. Теоретические основы применения геоинформационных систем в сельском хозяйстве // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2019. Т. 171. № 4. С. 53–64.
7. Сальников С. Г., Личман А. А., Луппов В. В., Муратова Л. Г., Тухина Н. Ю. Системы информационного обеспечения для анализа и прогнозирования в сельском хозяйстве М.: ВИАПИ имени А. А. Никонова. 2019. В. 50. С. 120.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ NPK ПОД РИС НА
ЧЕРНОЗЁМАХ ЛУГОВЫХ НА ОСНОВЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ДОЗА-ОТВЕТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МИКРОПОЛЕВОГО ОПЫТА**

Г. П. Глазунов¹, М. В. Евдокимова¹, М. А. Скаженник², В.Н. Чижиков²

¹*Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,*

E-mail: glazng@mail.ru, mawkae@gmail.com;

²*ФГБНУ «ФНЦ риса», г. Краснодар, пос. Белозёрный,*

E-mail: sma_49@mail.ru

Закономерности сезонной динамики показателей роста и развития посевов риса, определяемые сортовыми особенностями, агротехникой и обеспеченностью химическими, биологическими и физическими факторами жизни растений, дают возможность их использования в качестве основы для нахождения оптимальных доз минерального удобрения на основе анализа показателей роста в фазовой плоскости доза – эффект с использованием решений теоретической модели

Ключевые слова: рис, биофизика, модель роста, оптимальное удобрение

**DETERMINATION OF THE OPTIMAL NPK DOSE FOR RICE ON
MEADOW CHERNOZEMS IN MICROFIELD TRIALS BASED ON THE
THEORETICAL DOSE-RESPONSE MODEL**

G. P. Glazunov, M. V. Yevdokimova, M. A. Skazhennik, V. N. Chizhikov

¹*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science,*

E-mail: glazng@mail.ru, mawkae@gmail.com;

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Rice Centre»,

E-mail: sma_49@mail.ru

A regular character of seasonal dynamics of rice crop parameters, being dependent on the varietal characteristics, agricultural technology and availability of plant life factors, makes it possible to use them as a basis for quantitative forecasting of optimal doses of mineral fertilizers using dose-response equations, derived from the theoretical growth model.

Keywords: rice, biophysics, growth model, optimal fertilizer

Обеспечение растущего населения Земли качественным продовольствием в условиях нарастающего дефицита необходимых для этого материальных ресурсов требует разработки новых, более продуктивных и технологичных сортов и технологий их возделывания. Материалы для данной статьи получены в ходе работ по выведению и апробации новых сортов риса и технологий их возделывания. Новые сорта должны отвечать ряду требований, включая высокую урожайность и сохранение качества окружающей природной среды при возделывании риса. Одним из негативных последствий возделывания риса

является загрязнение почв и вод в результате избыточного удобрения, основанием которого служит отсутствие единого подхода к нахождению оптимальной дозы удобрения. Наиболее надёжный, но не единственный, способ определения оптимальной дозы удобрения по результатам опытов сводится к построению дозовой зависимости, аппроксимации её подходящим уравнением и последующему анализу особых точек этого уравнения с целью определения оптимальной концентрации действующего вещества в почве, соответствующей максимуму урожая. Поскольку опытным путём установлено, что и азот, и фосфор и калий в больших дозах оказывают угнетающее действие на целевые культуры, оптимальная доза удобрения оказывается привязанной к точке максимума дозовой зависимости. В отсутствие общепринятого уравнения дозовой зависимости при нахождении точки максимума принято подбирать эмпирические уравнения, чаще всего в форме полиномов, наилучшим образом описывающие конкретный набор опытных данных «доза – ответ». Точность определения оптимальной дозы при таком подходе сильно зависит от величины шага опробования: чем меньше шаг опробования, тем больше опытных делянок, тем выше вероятность точного определения оптимальной дозы. Возрастание потребного числа делянок при данном подходе является ограничивающим фактором, который трудно исключить. Решение проблемы определения оптимальной дозы удобрения по результатам опыта видится в опоре на теоретическую зависимость «доза – ответ» с небольшим числом коэффициентов.

Указанные трудности поиска оптимальной дозы относятся к опытам с одним компонентом, тогда как на практике приходится иметь дело с их комплексом. Поэтому возникает ещё одно требование к искомой теоретической зависимости «доза – ответ», её аргумент должен учитывать все вносимые компоненты.

Проблемы, рассмотренные выше были решены в настоящей работе с использованием теоретической модели, полученной ранее, и результатов проведения микрополевого опыта с использованием шести сортов риса на фоне разных доз минеральных удобрений.

Авторский указатель

- Andronic Larisa* 336
Árendás Tamás 366
Bónis Péter 366
Corlateanu Liudmila 322
Deaghileva A. D. 611
Fodor Nándor 366
Ganea Anatolie 322
Grajdieru C. B. 611
Kholmanskiy A. S. 329
Marii Liliana 336
Maslobrod Serghei 322
Mitin V. A. 611
Sándor Renáta 366
Smerea Svetlana 336
Sugár Eszter 366
Tumanova L.G. 611
Zaytseva N. V. 329
Абакумов Е. В. 356, 371
Александров Е. Г. 72
Ананьев А. А. 378
Андронов Е. Е. 371
Аникина Л. М. 31
Анточ Л. П. 235
Анциферова О. Н. 418
Артемьева А. М. 17, 31
Архипов М. В. 288
Асеева Т. А. 503
Афанасьева Е. Г. 509
Банкина Т. А. 31
Баранова Н. В. 118
Бежан Н. А. 182
Беленков А. И. 615
Береза О. В. 722
Беспалов В. А. 385
Богатых О. А. 532
Болотов А. Г. 392
Боровская А. Д. 125
Ботнаръ В. Ф. 72, 80
Буянкин Н. И. 436
Веллер В. Е. 624
Вертебный В. Е. 31, 66, 351, 361
Витион П. Г. 580, 587
Витковская С. Е. 397, 560
Ворнику З. Н. 118
Воробьев Н. И. 632
Воропаев В. В. 693
Гавзер С. И. 171, 189
Гавюк Л. А. 182
Гаина Б. С. 72
Галль Н. Р. 164
Галушко А. С. 17, 31
Ганя А. И. 196
Гармашов В. М. 404
Гармашова Л. В. 404
Гиневский Р. С. 744
Гладкая А. А. 87
Гладков Г. Д. 371
Глазунов Г. П. 766
Гольтяпин В. Я. 638
Горепекин И. В. 411, 546, 567
Грачева А. В. 92
Гусакова Л. П. 288
Давыдова Н. В. 92
Данилова Т.Н. 596
Даскалюк А. П. 107
Дембовецкий А. В. 12, 498
Длужевский Н. Г. 450
Длужевский О. Н. 450
Доброхотов А. В. 344
Дронова Н. В. 532
Дубовицкая В. И. 351, 361
Дунаева Е. А. 101
Евдокимова Е. В. 371
Евдокимова М. В. 766
Егорова К. В. 43, 66
Емельянов А. В. 514
Желев Д. Д. 107
Желев Н. Н. 107
Железняк Т. Г. 118
Железова С. В. 378, 624
Желнина А. И. 164
Журавлева А. С. 31
Зверев А. О. 371
Здиорук Н. В. 210
Зинчук Е. Г. 464
Иванов Д. А. 418

Иванова Е. А. 371
Иванова Р. А. 125
Ивахнюк Г. К. 632
Казаченко А. О. 92
Калалб Т. 132
Калнин Т. Г. 12
Канаш Е. В. 17, 31, 231
Карасева О. В. 418
Касьянов А. Е. 645
Каховская И. А. 140, 282
Килинчук А. И. 80
Кимеклис А. К. 371
Клименко О. А. 152
Кобозев Д. Д. 645
Козлов А. В. 425
Козырева Л. В. 344
Конищев А. А. 429
Конончук П. Ю. 361
Корнилов И. М. 404
Корнилов Т. В. 667
Корнюхин Д. Л. 31
Косолапов В. М. 146
Кот А. Н. 652
Котенко Е. Д. 132, 254
Кочетов А. А. 17, 43, 50, 66
Кошалык К. В. 171
Кравченко А. Н. 152
Краснопёров А. Г. 436
Кудряшова С. Я. 603
Кузнецова И. И. 157
Кулешова Т. Э. 164
Куликова А. Х. 425
Курденкова Е. К. 554
Кучаева Л. Н. 58
Лазарев В. А. 744
Леднев А. В. 443
Лунева Н. Н. 661
Лупашку Г. А. 171, 189
Лысий Д. В. 254
Лысов А. К. 667
Маковой М. Д. 177
Маринеску М. Ф. 182
Максименкова Т. А. 722
Маркин В. Н. 677, 685
Марморштейн А. А. 554
Матвеев Д. А. 693
Мащенко Н. Е. 125
Медведев С. С. 58
Мильцын А. А. 752
Милюткин В. А. 450
Мирская Г. В. 92, 310
Митин В. А. 157, 457
Митина И. В. 157, 457
Михайленко И. М. 700
Михня Н. И. 189
Могылда А. А. 196
Моисеев К. Г. 464
Москвин М. А. 351, 361
Нардид В. А. 92
Неменуцкая Л. А. 315
Низамзаде Т. Н. 471
Николаев В. А. 484
Николаев М. В. 478
Николаев П. Н. 203
Никуцэ А. П. 242
Новикова Л. Ю. 275
Нужная Н. А. 404
Осмоловская Н. Г. 58
Панова Г. Г., 17, 31, 164
Панфёрова Т. В. 632
Пасынков А. В. 219
Пасынкова Е. Н. 219
Пискунова А. С. 615
Пищик В. Н. 632
Платовский Н. Н. 210
Поляков В. И. 356
Поляков В. И. 371
Попович В. Ф. 101
Прияткин Н. С. 17, 288
Прокофьев Н. А. 652
Прущик А. В. 489
Пухальский Я. В. 632
Пыленок П. И. 492
Раля Т. Х. 210
Резепкин А. М. 92
Рижия Е. Я. 351, 361
Родионова Н. В. 603
Романова Е. С. 92

Романчук Г. 707
Рублюк М. В. 418
Рудаков С. В. 226
Рудакова А. С. 140, 226, 282
Румянцев Р. И. 425
Русаков Д. В. 231
Рушина Н.А. 310
Савченко Н. Е. 509
Савчук Н. В. 554
Салмин А. С. 624
Салтанович Т. И. 235
Сашко Е. Ф. 171
Светличенко В. Ю. 242
Свиридова О. В. 632
Селезнева Н. А. 503
Сельмен В. Н. 248
Семенов К. Н. 17, 31
Синявина Н. Г. 43, 50, 66
Скаженник М. А. 766
Скворцова Е. Б. 498
Скрипникова Е. В. 514
Смук В. В. 574
Сорокина Н. В. 12
Степанов А. С. 716
Страшная А. И. 722
Суздалева А. В. 12
Суняйкин А. А. 503
Сыромятников Ю. Н. 132, 254
Тарасова Л. Л. 262
Терлеев В. В. 101, 744
Тимошин В. Н. 700
Титова Т. В. 385
Тишкова А. Г. 509
Топаж А. Г. 744
Трофимов И. А. 146, 514
Трофимова Л. С. 146, 514, 520
Туманова Л. Г. 457
Туранова А. В. 526
Турусов В. И. 532
Удалова О. Р. 17, 31, 164
Уланов Н. А. 538
Федорова Т. Н. 268
Федорова Ю. А. 661
Федотов Г. Н. 411, 546, 567
Фесенко М. А. 574
Фролов А. А. 58
Фролов А. Н. 752
Хамова Т. В. 31
Харя И. Д. 242
Хомяков Ю. В. 31, 66, 351, 361
Хоменок Г. П. 503
Чарыков Н. А. 31
Чевердин Ю. И. 385
Черкасов И. М. 624
Черников Е. А. 554
Чесноков Ю. В. 43, 92, 226
Чижевиков В. Н. 766
Чистяков П. Н. 275
Чумбаев А.С. 603
Шабанов В. В. 677, 685
Шаврина К. Ф. 560
Шалаев В. С. 567
Шаройко В. В. 31
Шеин Е. В. 12, 392, 498
Шилова О. А. 17, 31
Широколава А. В. 92
Шпак Л. И. 125
Шпанев А. М. 31, 574
Шукюров С. А. 268
Шутов А. Д. 140, 282
Щеголихина Т. А. 759
Щигрова Л. И. 484, 615
Щукина П. А. 288
Юсова О. А. 203, 295
Яковлева Е. П. 146, 303, 514
Якушев В. П. 3

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарная сессия

В. П. Якушев

Новые возможности информационного обеспечения систем
точного земледелия 3

Е. В. Шейн, А. В. Дембовецкий, А. В. Суздалева, Н. В. Сорокина, Т. Г. Калнин
Актуальные вопросы физики почв в современной агрофизике 12

*Г. Г. Панова, Е. В. Канаиш, О. Р. Удалова, А. А. Кочетов, А. С. Галушко,
Н. С. Прияткин, К. Н. Семенов, О. А. Шилова, А. М. Артемьева*
На пути к созданию «идеальных агроэкосистем» 17

Секция

«Продукционный процесс растений в естественных и регулируемых условиях»

*Г. Г. Панова, К. Н. Семенов, О. А. Шилова, А. М. Артемьева, Е. В. Канаиш,
Н. А. Чарыков, Т. В. Хамова, Л. М. Аникина, Ю. В. Хомяков, О. Р. Удалова,
Д. Л. Корнюхин, В. Е. Вертебный, А. М. Шпанев, Т. А. Банкина, А. С. Галушко,
А. С. Журавлева, В. В. Шаройко*
О влиянии на культурные растения новых биологически активных средств на
основе углеродных и кремнезольных наноструктур 31

К. В. Егорова, Н. Г. Синявина, А. А. Кочетов, Ю. В. Чесноков
Оценка селекционно значимых морфологических признаков в популяции
удвоенных гаплоидов *Brassica rapa* L. в условиях
контрастного фотопериода 43

А. А. Кочетов, Н. Г. Синявина
Перспективы создания скороспелых высокопродуктивных форм *Raphanus
sativus* L. для светокультуры и открытого грунта при гибридизации редиса и
дайкона 50

Н. Г. Осмоловская, Л. Н. Кучаева, С. С. Медведев, А. А. Фролов
Современные стратегии минерального питания как регулирующий фактор
формирования урожая растений в гидропонной культуре 58

Н. Г. Синявина, А. А. Кочетов, К. В. Егорова, В. Е. Вертебный, Ю. В. Хомяков
Влияние водного экстракта из листьев стевии
(*Stevia rebaudiana* Bertoni) на урожай и биохимические показатели салата и
редиса в светокультуре 66

Е. Г. Александров, В. Ф. Ботнарь, Б. С. Гаина
Изменение климатических факторов и продуктивность генотипов
винограда 72

<i>А. И. Килинчук, В. Ф. Ботнарь</i> Влияние густоты посадки и крупности зубков на урожайность и качества луковиц нестрелкующегося чеснока.....	80
<i>А. А. Гладкая</i> Определение влияния предпосевной обработки семян однодольных и двудольных растений экстрактом листьев <i>R. rharonticum</i> L на всхожесть и биометрические показатели проростков.....	87
<i>Н. В. Давыдова, А. О. Казаченко, А. В. Широколава, А. М. Резепкин, В. А. Нардид, А. В. Грачева, Е. С. Романова, Ю. В. Чесноков, Г. В. Мирская</i> Создание новых сортов яровой мягкой пшеницы с использованием нетрадиционного исходного материала.....	92
<i>Е. А. Дунаева, В. Ф. Попович, В. В. Терлеев</i> Информационные аспекты мониторинга посевов сельскохозяйственных культур при разных технологиях возделывания.....	101
<i>Н. Н. Желев, А. П. Даскалюк, Д. Д. Желев</i> Перспективы внедрения методов ускоренной оценки морозоустойчивости генотипов пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.) для их рационального отбора при посеве в различных климатических зонах.....	107
<i>Т. Г. Железняк, З. Н. Ворнику, Н. В. Баранова</i> Влияние некоторых агрофитотехнических факторов на продуктивность змееголовника молдавского (<i>Dracoscephalum moldavica</i> L.)	118
<i>Р. А. Иванова, А. Д. Боровская, Н. Е. Мащенко, Л. И. Шпак</i> Действие биорегуляторов из <i>Verbascum densiflorum</i> на морфо-физиологические характеристики капусты белокочанной.....	125
<i>Т. Калалб, Ю. Н. Сыромятников, Е. Д. Котенко</i> Гисто-анатомический анализ в оценке новых генотипов томата, полученных <i>in vitro</i>	132
<i>И. А. Каховская, А. С. Рудакова, А. Д. Шутков</i> Происхождение и эволюция легумаинов Asn-специфичных протеиназ семян.....	140
<i>В. М. Косолапов, И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова, Е. П. Яковлева</i> Управление продукционным процессом сельскохозяйственных культур.....	146
<i>А. Н. Кравченко, О. А. Клименко</i> Засухоустойчивость и адаптивность мужского гаметофита линий и гибридов кукурузы	152
<i>И. И. Кузнецова, В. А. Митин, И. В. Митина</i> Изменение спектра фитопатогенов рода <i>Fusarium</i> и рода <i>Myrothecium</i> при предпосевной обработке семян пшеницы фунгицидом Shell 120FS	157

<i>Т. Э. Кулешова, А. И. Желнина, Н. Р. Галль, О. Р. Удалова, Г. Г. Панова</i> Комплекс датчиков для суточного автоматического неинвазивного фитомониторинга в условиях интенсивной светокультуры	164
<i>Г. А. Лушаку, С. И. Гавзер, Е. Ф. Сашко, К. В. Кошалык</i> Влияние взаимодействия почвенных грибов с пшеницей на наследуемость и вариабельность силы семени.....	171
<i>М. Д. Маковой</i> Влияние способа мульчирования почвы на показатели признаков продуктивности томата.....	177
<i>М. Ф. Маринеску, Л. А. Гавюк, Н. А. Бежан</i> Влияние регулятора роста реглалг на биохимический состав и структуру плодов груши в процессе хранения.....	182
<i>Н. И. Михня, Г. А. Лушаку, С. И. Гавзер</i> Влияние грибов <i>Alternaria alternata</i> и <i>Fusarium</i> spp. На вариабельность и наследуемость признаков роста томата	189
<i>А. А. Могылда, А. И. Ганя</i> Оценка генотипов из коллекций кунжута (<i>Sesamum indicum</i> L.) По параметрам продуктивности	196
<i>П. Н. Николаев, О. А. Юсова</i> Анализ урожайности и качества зерна адаптивных сортов ячменя ярового	203
<i>Н. Н. Платовский, Н. В. Здиорук, Т. Х. Раля</i> Влияние БАВ на формирование урожайности и качества зерна озимой пшеницы.....	210
<i>Е. Н. Пасынкова, А. В. Пасынков</i> Урожайность зерновых культур и ее зависимость от гидротермических условий в период вегетации	219
<i>А. С. Рудакова, С. В. Рудаков, Ю. В. Чесноков</i> Анализ изоферментов эстераз зрелых семян рекомбинантных инбредных линий яровой мягкой пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	226
<i>Д. В. Русаков, Е. В. Канаиш</i> Оптические характеристики листьев засухоустойчивых и незасухоустойчивых сортов пшеницы и их изменение в условиях почвенной засухи.....	231
<i>Т. И. Салтанович, Л. П. Анточ</i> Использование пыльцевого анализа для характеристики устойчивости сортов томата в условиях абиотических стрессов.....	235
<i>В. Ю. Светличенко, А. П. Никуцэ, И. Д. Харя</i> Изменение качественных показателей плодов груши под влиянием БАВ «Реглалг» и микроэлементов В, Zn, Mn, Mo, и в зависимости от применяемых методов хранения.....	242

<i>В. Н. Сельмен</i> Энергетические потребности для промышленного использования светокультуры.....	248
<i>Ю. Н. Сыромятников, Е. Д. Котенко, Д. В. Лысий</i> Получение межвидовых линий томатов в культуре зародышего кallуса <i>in vitro</i>	254
<i>Л. Л. Тарасова</i> Новый метод прогноза запасов влаги.....	262
<i>Т. Н. Федорова, С. А. Шукюров</i> Продуктивность новых сортов сои в экологических условиях Среднего Приамурья	268
<i>П. Н. Чистяков, Л. Ю. Новикова</i> Оценка возможности продвижения на север зоны возделывания винограда на ЕТР.....	275
<i>А. Д. Шутов, А. С. Рудакова, И. А. Каховская</i> Луназин: уникальный биоактивный полипептид в семенах сои.....	282
<i>П. А. Щукина, Н. С. Прияткин, М. В. Архипов, Л. П. Гусакова</i> Возможности программной среды MATLAB для подготовки цифровых рентгеновских изображений семян к визуальному дешифрированию	288
<i>О. А. Юсова</i> Рост и развитие стебля сои в условиях южной лесостепи Западной Сибири	295
<i>Е. П. Яковлева</i> Управление продукционным процессом степных агроэкосистем Хакасии	303
<i>Н.А. Рушина, Г.В. Мирская</i> Анализ сортов и линий яровой мягкой пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.) с использованием микросателлитных маркеров.....	310
<i>Л. А. Неменуцкая</i> Современные физические методы в переработке сельскохозяйственного сырья	315
<i>Corlateanu Liudmila, Ganea Anatolie, Maslobrod Serghei</i> Millimeter radiation as a factor increasing viability of collection accessions of medicinal plants under <i>ex situ</i> conservation.....	322
<i>A. S. Kholmanskiy, N. V. Zaytseva</i> Dependence of chlorophyll content in leaves from light regime, electromagnetic fields and plant species.....	329
<i>Marii Liliana, Smerea Svetlana, Andronic Larisa</i> Biochemical changes triggered by the virus infection in tomato somaclones derived from different histopathosystems	336

Секция

«Взаимодействия в системе «почва – приземный слой атмосферы».

Циклы азота и углерода в агроэкосистемах»

Л. В. Козырева, А. В. Доброхотов

Радиационный баланс, отношение Боуэна на рельефной поверхности 344

М. А. Москвин, В. И. Дубовицкая, В. Е. Вертебный,

Е. Я. Рижия, Ю. В. Хомяков

Динамика каталазной и уреазной активности дерново-подзолистой почвы при внесении биоугля..... 351

В. И. Поляков, Е. В. Абакумов

Роль почвоподобных тел и криоконитов в деградации ледникового покрова Арктики и Антарктики..... 356

Е. Я. Рижия, В. Е. Вертебный, Ю. В. Хомяков, М. А. Москвин, В. И. Дубовицкая, П. Ю. Конончук

Временные изменения степени ароматизации и окисления ароматических структур биоугля в результате его взаимодействия с дерново-подзолистой почвой 361

Renáta Sándor, Eszter Sugár, Tamás Árendás, Péter Bónis, Nándor Fodor

Impact of conventional ploughing and minimal tillage on spring oat (*Avena sativa* L.) 366

Секция

«Качество почв: продуктивность, агромелиоративное и фитосанитарное состояние земель»

Е. В. Абакумов, Е. А. Иванова, Е. Е. Андронов, А. К. Кимеклис, Г. Д. Гладков,

А. О. Зверев, Е. В. Евдокимова, В. И. Поляков

Роль химического и вещественного состава почв самозарастающих и рекультивированных карьеров в формировании состава и функциональной организации микробиома 371

А. А. Ананьев, С. В. Железова

Твёрдость, влажность и электрическое сопротивление тёмно-каштановой почвы Ростовской области под разными культурами севооборота..... 378

В. А. Беспалов, Ю. И. Чевердин, Т. В. Титова

Эволюционные изменения структурно-агрегатного состояния черноземных почв в агролесоландшафтах Центрального Черноземья..... 385

А. Г. Болотов, Е. В. Шеин

Модифицированный метод определения коэффициента фильтрации почвы .. 392

С. Е. Витковская

Методические основы проведения полевых экспериментов с химическими мелиорантами..... 397

<i>В. М. Гармашов, Н. А. Нужная, И. М. Корнилов, Л. В. Гармашова</i> Структура микробного ценоза черноземных почв пашни и естественных экосистем.....	404
<i>И. В. Горепекин, Г. Н. Федотов</i> Повышение эффективности предпосевной обработки семян яровой пшеницы субстратами дыхательного метаболизма и гормонами роста растений	411
<i>Д. А. Иванов, О. В. Карасева, М. В. Рублюк, О. Н. Анциферова</i> Методические аспекты изучения динамических процессов в агроландшафтах.....	418
<i>А. В. Козлов, А. Х. Куликова, Р. И. Румянцев</i> Анализ взаимодействия бентонитовой породы с коллоидной фракцией дерново-подзолистой почвы с использованием ИК-спектроскопии	425
<i>А. А. Конищев</i> Плотность сложения почвы как основа совершенствования технологий выращивания зерновых.....	429
<i>А. Г. Краснопёров, Н. И. Буянкин</i> Влияние переувлажнения дерново-подзолистой почвы на биологическую активность в смешанных бобово-злаковых посевах	436
<i>А. В. Леднев</i> Влияние различных агротехнических и агрохимических приёмов на агрофизические показатели агродерново-подзолистых почв, загрязнённых нефтью.....	443
<i>В. А. Милюткин, Н. Г. Длужевский, О. Н. Длужевский</i> эффективность жидких минеральных удобрений КАС в комбинированном корневом и листовом питании	450
<i>И. В. Митина, В. А. Митин, Л. Г. Туманова</i> Выявление в почве продуцентов микотоксинов по генам, участвующим в синтезе микотоксинов.....	457
<i>К. Г. Моисеев, Е. Г. Зинчук</i> Группировка почв землепользования Меньково по гранулометрическому составу	464
<i>Т. Н. Низамзаде</i> Проблемы консолидации земель в Азербайджане.....	471
<i>М. В. Николаев</i> Влияние климатических изменений на продуктивность мелиорируемых земель	478
<i>В. А. Николаев, Л. И. Щигрова</i> Изменение плодородия дерново-подзолистой почвы под действием приемов основной обработки	484

<i>А. В. Прущик</i> Влияние агромелиоративных мероприятий на свойства чернозема типичного	489
<i>П. И. Пыленок</i> Влияние седиментации на качество аллювиальной почвы в пойме р. Оки.....	492
<i>Е. Б. Скворцова, Е. В. Шейн, А. В. Дембовецкий</i> Количественная оценка структуры порового пространства почв по томографическим исследованиям	498
<i>А. А. Суняйкин, Н. А. Селезнева, Г. П. Хоменок, Т. А. Асеева</i> Динамика агрохимических показателей в естественных и антропогенно- преобразованных экосистемах лугово-бурых почв Среднего Приамурья.....	503
<i>А. Г. Тишкова, Н. Е. Савченко, Е. Г. Афанасьева</i> Структурно-функциональное состояние микробного сообщества в агроценозах Среднего Приамурья и его влияние на реализацию продуктивных качеств сельскохозяйственных культур.....	509
<i>И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова, Е. П. Яковлева, А. В. Емельянов, Е. В. Скрипникова</i> Управление продуктивностью и качеством почв	514
<i>Л. С. Трофимова</i> Продуктивность, агромелиоративное и фитосанитарное состояние земель	520
<i>А. В. Туранова</i> Качество почв как аспект оценки объектов недвижимости в соответствии с российскими зелеными стандартами	526
<i>В. И. Турусов, О. А. Богатых, Н. В. Дронова</i> Влияние бобовых культур на качественные показатели почвы и продуктивность озимой пшеницы в различных севооборотах.....	532
<i>Н. А. Уланов</i> О необходимости и технологической возможности сохранения органического вещества торфоземов, используемых в кормопроизводстве	538
<i>Г. Н. Федотов, И. В. Горепекин</i> Аллелотоксичность почв и способы снижения ее негативного влияния на прорастание семян яровой пшеницы.....	546
<i>Е. А. Черников, А. А. Мarmorштейн, Н. В. Савчук, Е. К. Курденкова</i> Трансформация солонцеватых почв Тамани в условиях изменяющегося климата	554
<i>К. Ф. Шаврина, С. Е. Витковская</i> Влияние возрастающих доз мелиоранта на конкурентные взаимодействия Zn, Ca, Mg в системе «почва – растение»	560

<i>В. С. Шалаев, Г. Н. Федотов, И. В. Горепекин</i> Изучение влияния технологических параметров на эффективность применения сорбционно-стимулирующего препарата, используемого для предпосевной обработки семян яровой пшеницы	567
<i>А. М. Шпанев, В. В. Смук, М. А. Фесенко</i> Отрицательное влияние минеральных удобрений на фитосанитарное состояние посевов зерновых культур в Северо-Западном регионе РФ.....	574
<i>П. Г. Витион</i> Агрозоомелиоративные мероприятия для биостимуляции педобионтов и улучшения плодородия почв.....	580
<i>П. Г. Витион</i> Продукционно-биологическое значение педобионтов в биодеструкции различных органических остатков почв	587
<i>Т.Н. Данилова</i> Полимерные гели для управления водообеспеченностью и продуктивностью сельскохозяйственных культур.....	596
<i>Н. В. Родионова, С. Я. Кудряшова, А. С. Чумбаев</i> Об оценке содержания гумуса в почве в условиях Новосибирской области по оптическим данным Sentinel 2	603
<i>A. D. Deaghileva, V. A. Mitin, C. B. Grajdieru, L. G. Tumanova</i> Semiquantitative analysis of soil-borne plant pathogens from <i>Fusarium</i> genus in some tomato varieties	611

Секция

«Информационные технологии в точном земледелии»

<i>А. И. Беленков, А. С. Пискунова, Л. И. Щигрова</i> технологические особенности точного земледелия в полевом опыте ЦТЗ	615
<i>В. Е. Веллер, А. С. Салмин, И. М. Черкасов, С. В. Железова</i> Инструментальные методы обнаружения сорной растительности в посевах зерновых культур	624
<i>Н. И. Воробьев, Я. В. Пухальский, О. В. Свиридова, В. Н. Пищик, Т. В. Панфёрова³, Г. К. Ивахнюк</i> Фрактальная композиция количественных соотношений химических элементов в растениях	632
<i>В. Я. Гольятин</i> Основные направления цифровизации селекции и семеноводства	638
<i>А. Е. Касьянов, Д. Д. Кобозев</i> Технические средства мониторинга водного режима почв в производственных условиях.....	645

<i>А. Н. Кот, Н. А. Прокофьев</i> Предварительные результаты применения данных мультиспектральной съемки для поиска мест произрастания борщевика Сосновского	652
<i>Н. Н. Лунева, Ю. А. Федорова</i> ГИС в изучении пространственной динамики сорных растений.....	661
<i>А. К. Лысов, Т. В. Корнилов</i> Дистанционные методы фитосанитарного мониторинга в защите растений ...	667
<i>В. Н. Маркин, В. В. Шабанов</i> Оценка влияния точной мелиорации на вымыв питательных веществ из почв	677
<i>В. Н. Маркин, В. В. Шабанов</i> Оценка влияния неоднородности почвенного плодородия на продуктивность сельскохозяйственных культур	685
<i>Д. А. Матвеев, В. В. Воронаев</i> Формирование базы знаний расчета оптических критериев посева зерновых культур для выделения внутрислоевой неоднородности	693
<i>И. М. Михайленко, В. Н. Тимошин</i> Система поддержки принятия решений по датам уборки зерновых	700
<i>Г. Романчук</i> Информационные технологии в управлении и оценке генетических ресурсов растений	707
<i>А. С. Степанов</i> Моделирование и прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур с использованием данных дистанционного зондирования Земли (на примере Дальнего Востока)	716
<i>А. И. Страшная, О. В. Береза, Т. А. Максименкова</i> Прогнозирование урожайности озимой пшеницы по субъектам европейской части России на основе комплексирования наземных и спутниковых данных.....	722
<i>В. В. Терлеев, Р. С. Гиневский, В. А. Лазарев, А. Г. Топаж</i> Функциональное представление гидрофизических свойств почвы как основа информационных технологий в мелиоративном прецизионном земледелии	744
<i>А. Н. Фролов, А. А. Мильцын</i> Новые конструкции ловушек для эффективного мониторинга вредителей полевых культур	752
<i>Т. А. Щеголихина</i> Географические информационные системы в сельском хозяйстве	759
<i>Г. П. Глазунов, М. В. Евдокимова, М. А. Скаженник, В. Н. Чижиков</i> Определение оптимальной дозы NPK под рис на чернозёмах луговых на основе теоретической модели «доза – ответ» по результатам микрополевого опыта.....	766

ISBN 978-5-905200-43-4



Материалы
Всероссийской научной конференции с международным участием
**«Вклад агрофизики в решение фундаментальных задач
сельскохозяйственной науки»**
Санкт-Петербург, 01–02 октября 2020 г.

Редактор: О. А. Агеенкова

Технический редактор: А. Ю. Цивилев

Подписано в печать 21.10.2020
Подготовлено к печати в ФГБНУ АФИ
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14.