

6. **Osipov A.G., Timofeev V.G.** Nauchno-metodicheskie osnovi opredeleniya ekologicheskoi dopustimogo urovnya osvoeniya prirodnih landshaftov pri sozdanii prirodno-agnarnih sistem // Informaciya i kosmos. – 2015. – № 2. – S. 85–95.
7. **Ryzhikov D.M.** Method of processing multispectral satellite data for solving the problem of monitoring the habitats of the Sorsnovsky Hogweed // Informatsionno-upravlyayushchie sistemy. – 2017. – No 6. – P. 43–51 (in Russian). DOI: 10.15217/issn1684-8853.2017.6.43.
8. **Tovstik E.V., Adamovich T.A., Rutman V.V., Kantor G.Ya., Ashikhmina T.Ya.** Identification of the thickets of *Heracleum sosnowskyi* using Earth remote sensing data // Theoretical and Applied Ecology. – 2018. – No 2. – P. 35–37 (in Russian). DOI: 10.25750/1995-4301-2018-2-035-037.
9. **Adamovich T.A., Domnina E.A., Timonov A.S., Rutman V.V., Ashikhmina T.Ya.** Methodological techniques for identifying plant communities based on Earth remote sensing data and field research // Theoretical and Applied Ecology. – 2019. – No 2. – P. 39–43 (in Russian). DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-039-043.
10. **Volkov A., Parinova T.** Thematic interpretation of the Northern Dvina River floodplain meadow ecosystem using remote sensing // BIO Web of Conferences. – 2018. – V. 11. – No 00045. – P. 1-3. DOI: 10.1051/bioconf/20181100045.

УДК 528.8; 631.8

DOI 10.24411/2078-1318-2020-12074

Соискатель **Л.В. ТУГАРИНОВ**
(АгроХимПром, tlw090975@gmail.com)
Доктор с.-х. наук **А.А. КОМАРОВ**
(ФГБНУ АФИ, zelenydar@mail.ru)
Соискатель **А.Д. КИРСАНОВ**
(ФГБНУ АФИ, zelenydar@mail.ru)

ОЦЕНКА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК С ПОМОЩЬЮ ДДЗ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

В настоящее время данные дистанционного зондирования земли (ДДЗ) широко используются в агропромышленном комплексе многих стран мира и все шире применяются в практике сельскохозяйственного производства. Как теоретическое, так и прикладное значение ДДЗ возрастает при использовании в изучении роста и развития возделываемых культур ряда вегетационных индексов, представляющих собой математические преобразования спектральных яркостей в разных зонах спектра, отражающих состояние земной поверхности.

Вегетационные индексы в настоящее время обладают широким диапазоном применения в агроэкологических исследованиях. Установлены связи индексов вегетации с режимом выпадения осадков, поглощением фотосинтетически активной радиации и динамикой термического режима. Это дает возможность применять индексы для определения биомассы посевов, выявления динамики землепользования, мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур.

Анализ доступных спутниковых данных показывает, что для организации оценки производственных посевов отдельных субъектов РФ широко используется спутниковый сервис мониторинга состояния растительности «ВЕГА» – ресурс Института Космических Исследований (Pro-vega.ru). Данные ДДЗ перспективны не только для фактической оценки состояния посевов, но используются в целях фитосанитарного мониторинга и экотоксикологической оценки агроэкосистем [2, 3] и применяются в системе точного земледелия [4].

Наиболее популярный и часто используемый индекс – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, RNDVI) – нормализованный разностный индекс растительности. Это показатель количества фотосинтетически активной биомассы [5, 6].

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющим спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм). Алгоритм расчета NDVI встроен практически во все распространенные пакеты программного обеспечения, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования (ArcView Image Analysis, ERDAS Imagine, ENVI, Ermapper, Scanex MODIS Processor, ScanView и др.) [5]. На основании выбора данных по оптическим показателям уже производится построение временных рядов с одновременным использованием данных дистанционного зондирования SUOMI NPP VIIRS и TERRA/AQUA MODIS [6].

Используя ДДЗ нами ранее был произведен анализ пространственного распределения урожайности для обоснования дифференциации агротехнологий [7], а также произведена оценка развития различных культур и естественной растительности [8, 9]. Многолетние исследования в этой области позволили произвести выбор наиболее информативных показателей дистанционного зондирования состояния растительного покрова [10]. Кроме того, на основании математического подхода определены перспективы использования геостатистики для анализа состояния растений по данным дистанционного зондирования земли [11]. Вместе с тем до сих пор эти разработки не находили применения для оценки эффективности действия тех или иных корректирующих приемов в условиях производственных посадок. Кроме того, все эти исследования были приурочены только к условиям Северо-Западного региона РФ. Весьма актуальным является расширение перспективных исследований в других регионах РФ.

Цель исследования – применение данных дистанционного зондирования земли для оценки корректирующего действия некорневых подкормок препаратом «Зеребра Агро» в условиях Краснодарского края.

Материалы, методы и объекты исследований. Эксперименты проводились в производственных условиях хозяйства ИП КФХ Вороновой А.Ф., расположенного в Крымском районе Краснодарского края, на площади 118,3 га с рисом сорта Хазар. В качестве объекта исследований использовали препарат «Зеребра Агро» в дозе 0,2 л/га [12]. Обработка производилась в 2 срока: первая – в фазу начала кущения, вторая – в фазу выметывания. В качестве контроля использовался вариант с высокоинтенсивной технологией возделывания риса, применяемой в хозяйстве. Этот вариант включал применение: карбамида – 10 кг/га, гумата калия – 0,5 л/га и гербицида номини (первая обработка). При второй обработке применялся карбамид – 15 кг/га с фунгицидом тифлузамид – 0,2 кг/га.

Для определения эффективности действия препарата впервые применялись данные дистанционного зондирования земли (ДДЗ), что позволило произвести оценку корректирующего действия некорневых подкормок препаратом «Зеребра Агро» на больших площадях в производственных условиях хозяйства. В настоящее время имеется достаточно обширный информационный ресурс ДДЗ, позволяющий оценивать состояние растений не только по вегетационному индексу (NDVI), но и используя ряд других спектральных характеристик и индексов. Эти индексы представляют собой математические преобразования спектральных яркостей в разных зонах спектра. В проводимых исследованиях оценивались некоторые из них.

В наших исследованиях, кроме ранее применяемого Вега-ресурса [7-10], применялся другой сервис спутниковых снимков. Для оценки состояния полей использовался сервис Land Viewer. Land Viewer – это служба обработки и анализа изображений в режиме реального времени. Данный сервис позволяет пользователю выполнять многоцелевые запросы, находить и использовать доступные изображения наблюдения Земли со спутников Sentinel 2 и Landsat 8. Изображения можно просматривать в разных комбинациях диапазонов или в спектральном индексе в реальном времени, например NVDI. Оценка проводилась на основании данных, полученных со спутника Sentinel 2. Sentinel 2 запущен в 2015 году.

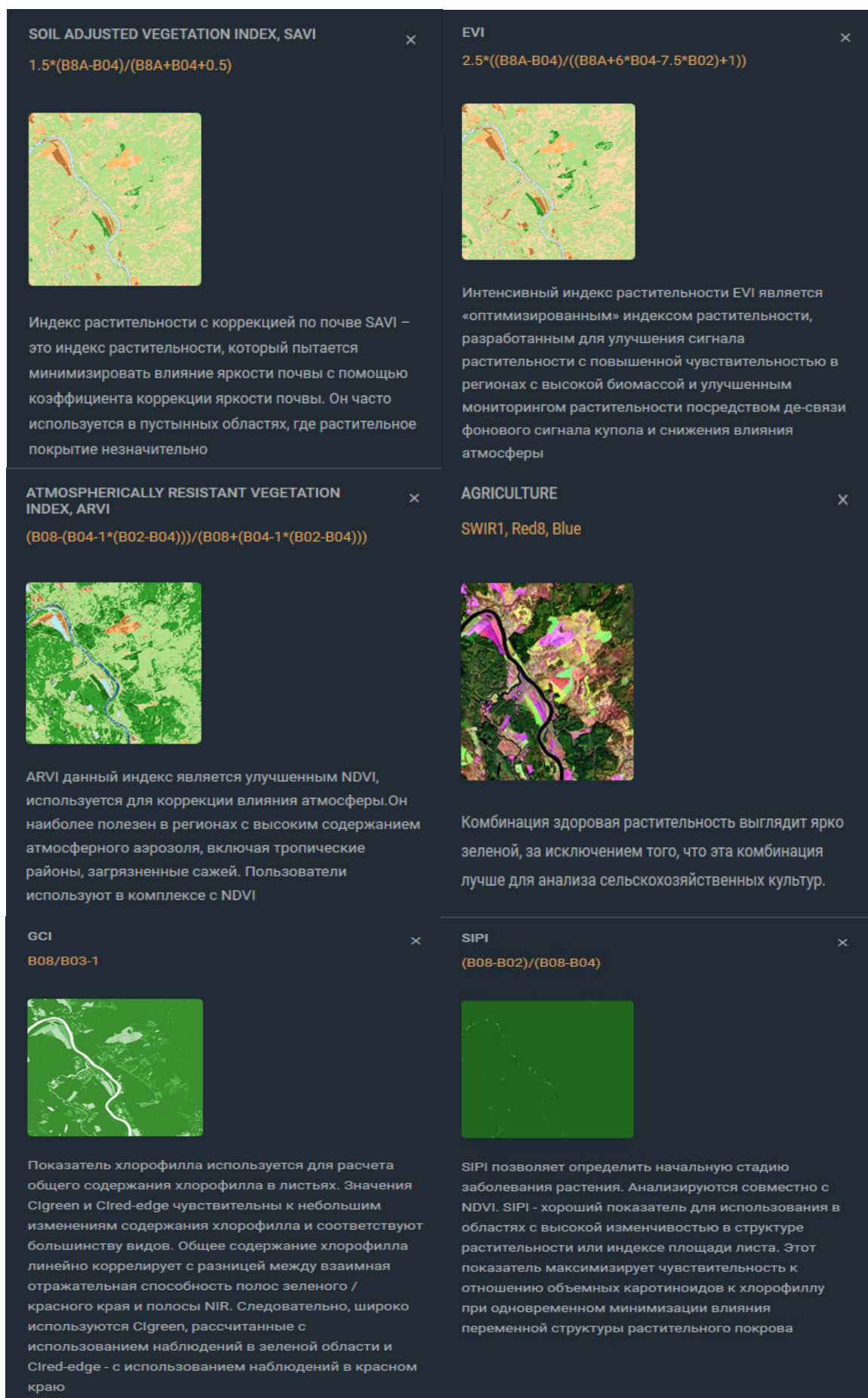


Рис.1. Сравнительные данные использования разных характеристик ДДЗ

Спутник оснащен оптико-электронным мультиспектральным датчиком для съемки с разрешением от 10 до 60 м в видимой, ближней инфракрасной и коротковолновой инфракрасной спектральных зонах. Так же у спутника имеется 13 спектральных каналов, которые позволяют наблюдать динамику состояния растительности, а также минимизирует влияние на качество атмосферной съемки. Сравнительная картина снимков ДДЗ по полям представлена на рисунке 1.

Видно, что каждый из снимков отображает определенное состояние растительного покрова, что создает перспективу выбора наиболее информативных показателей.

При возделывании сои применялась стандартная технология хозяйства (фон). В процессе возделывания и ухода за посадками применялись все необходимые регламентируемые мероприятия.

Результаты исследований. Оценка состояния полей проводилась в условиях вегетационного сезона 2019 г. В экспериментах использовались характеристики участков с координатами, представленными в исходной информации хозяйства (рис.2). Размещение полей с обработкой (указано «3А») препаратом «Зеребра Агро» и контрольным вариантом без обработки (указано «К») в режиме NDVI представлено на рисунке 3.



Рис.2. Исходные данные по участку ИП Вороновой А.Ф., Краснодарский край



Рис.3. Общее расположение полей ИП Вороновой А.Ф.

Как следует из данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), общее состояние растений после их обработки препаратом улучшилось. На рисунке 3 в режиме NDVI видно, что левая часть поля, где была произведена обработка растений препаратом, выглядит лучше. Здесь наблюдается более активное развитие растений, чем на контрольном участке (правая часть поля). Вместе с тем по территории поля отмечена неравномерность роста и развития растений. Следовательно, если при контрольных наземных замерах урожайности операторы отберут образцы в зонах с пониженной вегетацией, то могут получить неверные данные по сравнительной урожайности. Для наземной фиксации урожайных данных следует руководствоваться снимками ДЗЗ и производить отбор внутри поля в разных зонах его неоднородного пространства, представляя средние показатели по всему массиву.

Для того чтобы определить динамику биопродукционного процесса, а не отдельные (фиксированные) показатели (как это представлено на рис. 3), целесообразно произвести оценку изменения вегетационного индекса за весь период вегетации. Это представлено на рисунках 4 и 5, где отображены графики динамики вегетационного индекса на поле с обработкой препаратами и на контрольном участке.

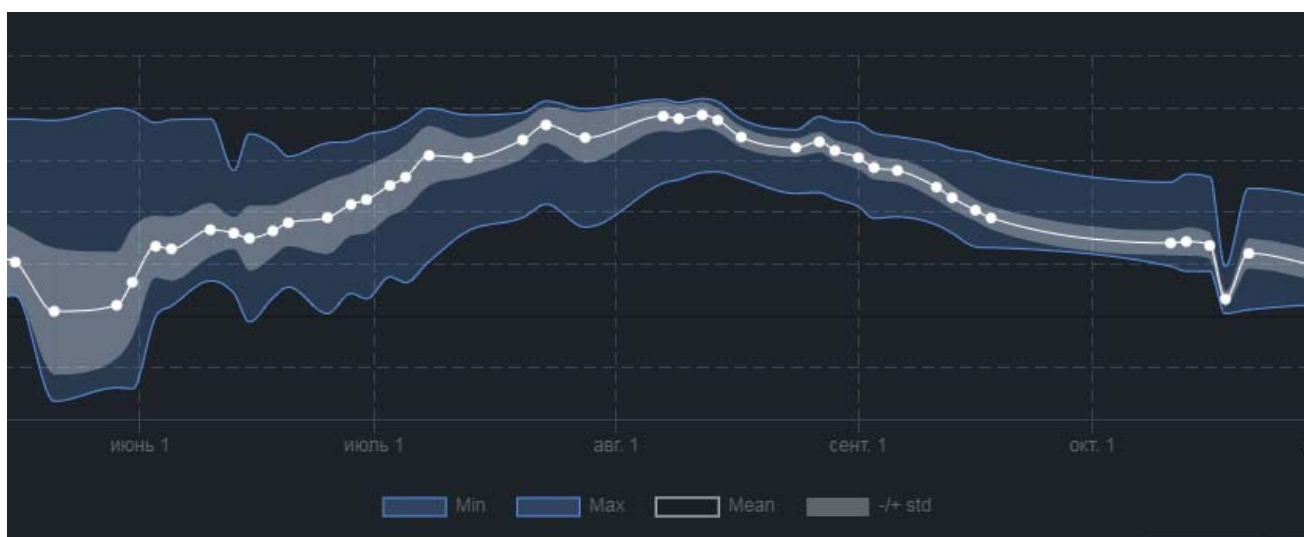


Рис. 4. Динамика вегетационного индекса на участке поля с обработкой растений «Зеребра Агро»

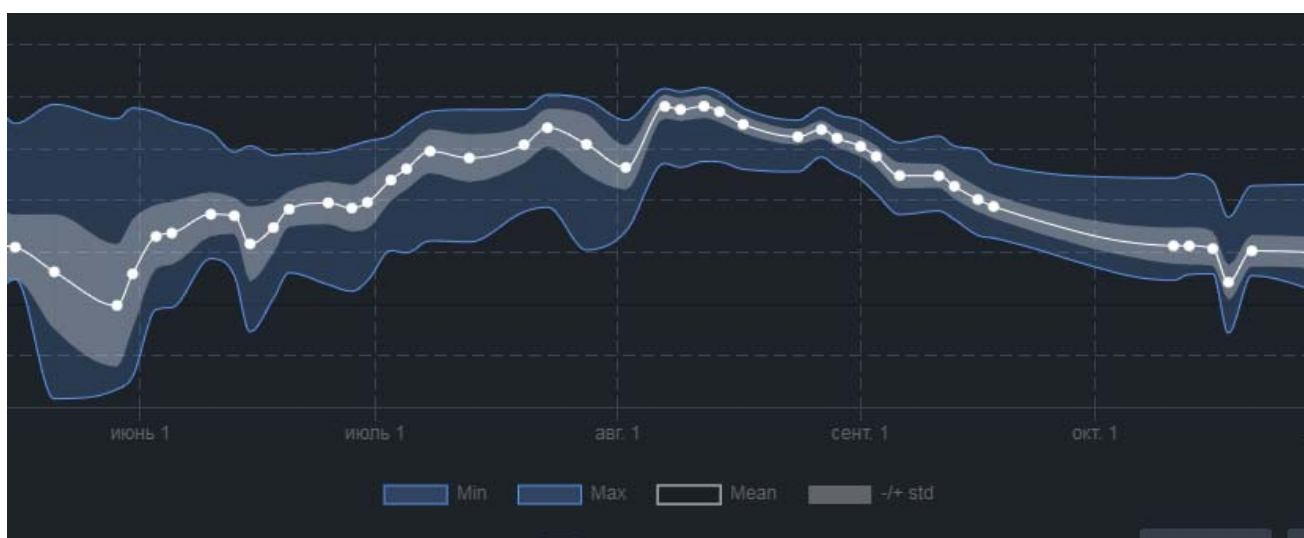


Рис. 5. Динамика вегетационного индекса на контрольном варианте

Сравнительная картина динамики индексов вегетации показывает отличие роста и развития растений по сравниваемым вариантам. Однако визуальная оценка показывает только качественные изменения, но не раскрывает количественных характеристик.

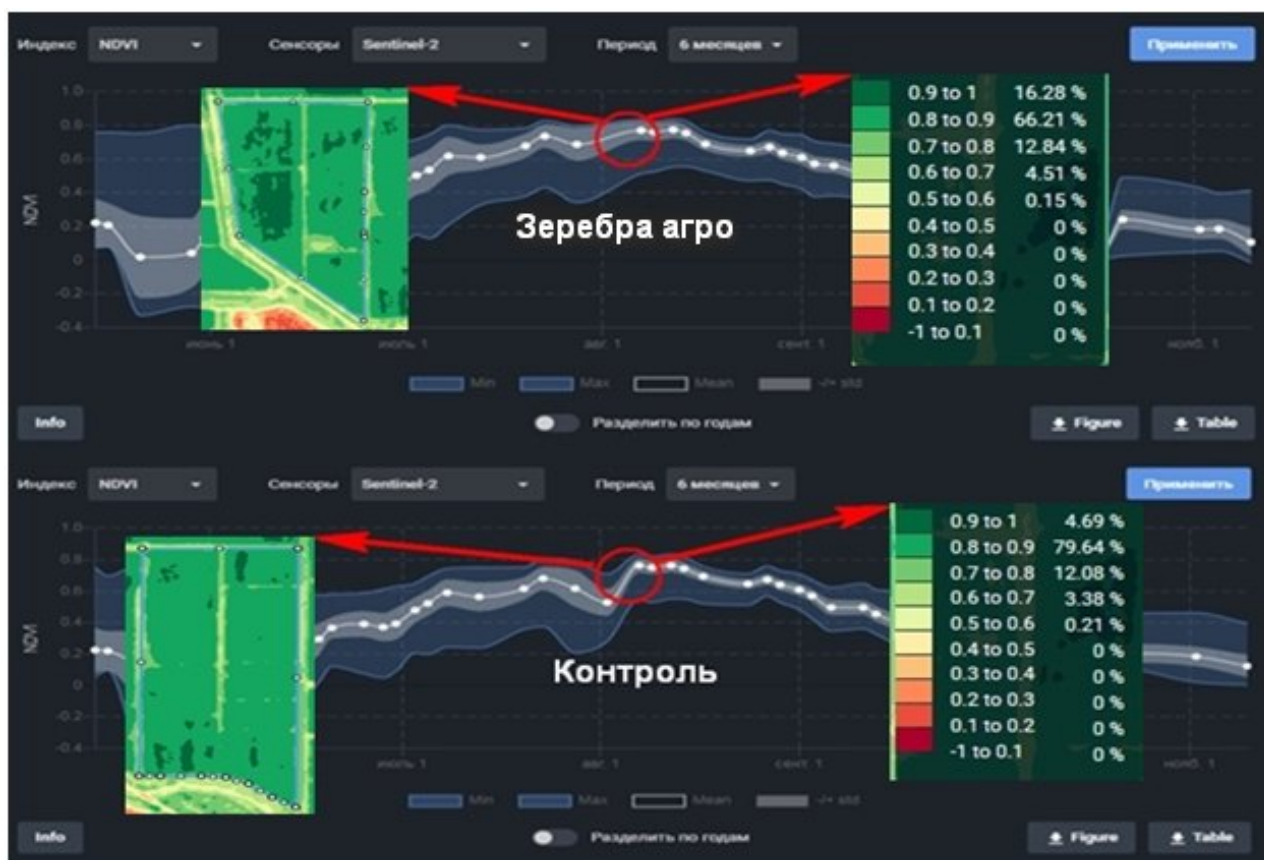


Рис.6. Количественные показатели по индексу NDVI за выбранный период наблюдений (5-10 августа 2019 г.)

На рисунке 6 отображен фактический материал по изменению индекса вегетации по участку поля с обработкой «Зеребра Агро» и контрольным вариантом сравнения. Видно, что наибольший индекс вегетации (от 0,9 до 1,0) на обработанном варианте составлял 16,28%, а на контрольном варианте он был в пределах 4,69%. Следовательно, растения на обработанном варианте имели более высокую фотосинтетическую активность и более высокий потенциал продуктивности.

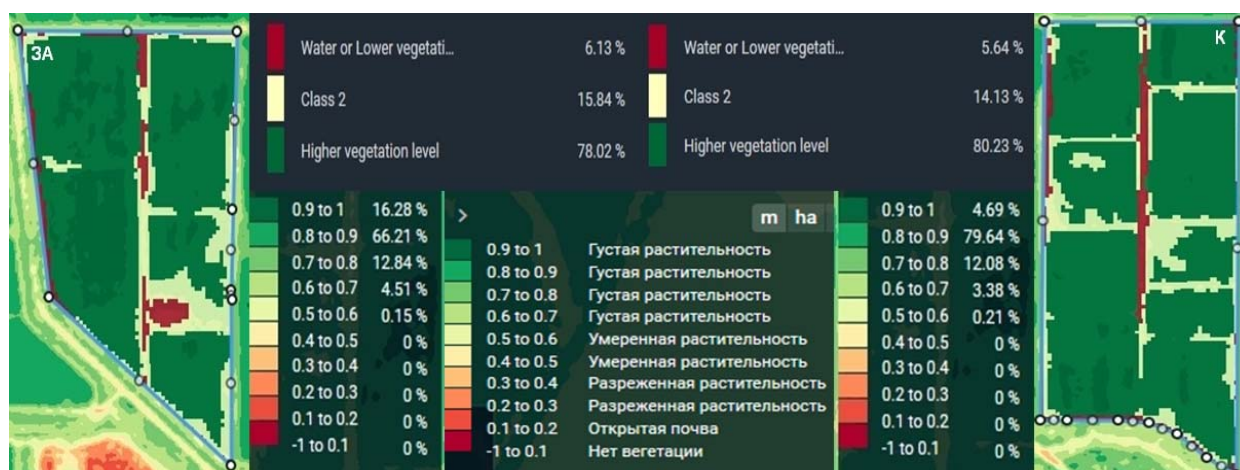


Рис.7. Кластеризация полей

Кластеризация полей (рис.7) выявляет высокую неоднородность состояния растений по каждому полю. Поэтому, как отмечалось выше, оценка урожайности по сравниваемым участкам должна производиться учетными площадками, охватывающими всю неравномерность пространства поля. Учетных площадок должно быть не менее 4-х. В противном случае полученные данные будут не объективны. Для проведения дальнейших исследований необходимо руководствоваться методическими рекомендациями по оценке состояния полей на основании методики проведения полевых экспериментов (Доспехов Б.А., 1985).

Выводы. На основании проведенных исследований в условиях Краснодарского края установлено, что при использовании ДДЗ оценка состояния растений по индексу NDVI совпадала с учетом данных урожайности, следовательно, этот метод вполне приемлем для оценки состояния посевов. Так, на участках с обработкой препаратом «Зеребра Агро» урожайность риса была на 6,7 ц/га, или на 12,5% выше, чем на варианте сравнения.

Литература

1. Лупнян Е.А., Савин И.Ю., Баргалева С.А., Толпин В.А., Балашов И.В. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА»)// Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2011. – Т.8. – №1. – С.190-198.
2. Исмаилов Э.Я., Ризванов А.А., Пластинин Ю.А., Захаров Е.П., Исмаилов В.Я., Надькта В.Д., Костенко И.А. и др. Перспективы дистанционного зондирования земли в целях фитосанитарного мониторинга и экотоксикологической оценки агроэкосистем //Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем: материалы Международной научно-практической конф. «Современные тенденции в производстве и применении биологических и малоопасных средств защиты растений» (Краснодар, 25-27 сент. 2012 г.). – М.: Изд-во «ООО РА «Грант», 2012. – С.406-413.
3. Шпанев А.М., Петрушин А.Ф. Методологические основы изучения оптических характеристик фитосанитарного состояния посевов //Агрофизика. – 2017. – №4. – С.48-57.
4. Якушев В.П., Лекомцев П.В., Матвеев Д.А., Петрушин А.Ф., Якушев В.В. Применение дистанционного зондирования в системе точного земледелия //Вестник сельскохозяйственной науки. – 2015. – №1. – С.23-25.
5. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы //Геоматика. – 2009. – №3. – С.28-32.
6. Пчельников Д.В., Добрецов Н.Н. Построение временных рядов с одновременным использованием данных дистанционного зондирования SUOMI NPP VIIRS и TERRA/AQUA MODIS // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2017. – Т. 23. – № 3. – С. 46-51.
7. Комаров А.А., Захарян Ю.Г., Кирсанов А.Д. Анализ пространственного распределения урожайности для обоснования дифференциации агротехнологий // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – №47. – С.48-57.
8. Пермяков Е.Г., Кирсанов А.Д., Комаров А.А. Оценка развития свёклы столовой по данным дистанционного зондирования // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4 (53). – С. 70-75.
9. Комаров А.А., Комаров А.А. Оценка состояния травостоя с помощью вегетационного индекса NDVI // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – №2 (51). – С.124-129
10. Комаров А.А., Мунтян А.Н., Суханов П.А. Выбор информативных показателей дистанционного зондирования состояния растительного покрова// Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018 – №3 (52). – С.64-70.
11. Захарян Ю.Г., Комаров А.А. Перспективы использования геостатистики для анализа состояния растений по данным дистанционного зондирования земли// Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2019. – Т.16. №3. – С.140-148.
12. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook/rep/zerebra-agro-vr.html>. (дата обращения: 20.04.2020).

Literatura

1. **Lupnyan E.A., Savin I.YU., Bartaleev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V.** Sputnikovyy servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti («VEGA»)// Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa. – 2011. – T.8. – №1. – S.190-198.
2. **Ismailov E.YA., Rizvanov A.A., Plastinin YU.A., Zaharov E.P., Ismailov V.YA., Nadykta V.D., Kostenko I.A. i dr.** Perspektivy distancionnogo zondirovaniya zemli v celyah fitosanitarnogo monitoringa i ekotoksikologicheskoy ocenki agroekosistem //Biologicheskaya zashchita rastenij – osnova stabilizacii agroekosistem: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konf. «Sovremennyye tendencii v proizvodstve i primenении biologicheskikh i maloopasnykh sredstv zashchity rastenij» (Krasnodar, 25- 27 sent. 2012 g.). – M.: Izd-vo «OOO RA «Grant», 2012. – S. 406-413.
3. **SHpanev A.M., Petrushin A.F.** Metodologicheskie osnovy izucheniya opticheskikh harakteristik fitosanitarnogo sostoyaniya posevov //Agrofizika. – 2017. – №4. – S.48-57.
4. **YAkushev V.P., Lekomcev P.V., Matveenko D.A., Petrushin A.F., YAkushev V.V.** Primenenie distancionnogo zondirovaniya v sisteme tochnogo zemledeliya //Vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. – 2015. – №1. – S.23-25.
5. **CHerepanov A.S., Druzhinina E.G.** Spektral'nye svojstva rastitel'nosti i vegetacionnye indeksy //Geomatika. – 2009. – №3. – S.28-32.
6. **Pchel'nikov D.V., Dobrecov N.N.** Postroenie vremennykh ryadov s odnovremennym ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovaniya SUOMI NPP VIIRS i TERRA/AQUA MODIS // InterKarto. InterGIS. – 2017. – T. 23. – № 3. – S. 46-51.
7. **Komarov A.A., Zaharyan YU.G., Kirsanov A.D.** Analiz prostranstvennogo raspredeleniya urozhajnosti dlya obosnovaniya differenciacii agrotekhnologii // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – №47. – S.48-57.
8. **Permyakov E.G., Kirsanov A.D., Komarov A.A.** Ocenka razvitiya svyokly stolovoj po dannym distancionnogo zondirovaniya // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – № 4 (53). – S. 70-75.
9. **Komarov A.A., Komarov A.A.** Ocenka sostoyaniya travostoya s pomoshch'yu vegetacionnogo indeksa NDVI // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – №2 (51). – S.124-129
10. **Komarov A.A., Muntyan A.N., Suhanov P.A.** Vybór informativnykh pokazatelej distancionnogo zondirovaniya sostoyaniya rastitel'nogo pokrova// Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018 – №3 (52). – S.64-70.
11. **Zaharyan YU.G., Komarov A.A.** Perspektivy ispol'zovaniya geostatistiki dlya analiza sostoyaniya rastenij po dannym distancionnogo zondirovaniya zemli// Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa. – 2019. – T.16. №3. – S.140-148.
12. **[Elektronnyj resurs].** – URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook/prep/zerebra-agro-vr.html>. (data obrashcheniya: 20.04.2020).