

Роль геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования земли для оценки состояния и продуктивности агроландшафтов

С.А. Антонов, к.г.н., ФГБНУ Северо-Кавказский ФНАЦ

Ставропольский край занимает пограничное положение между ландшафтами Большого Кавказа и Русской равнины, что определяет его сложную и многообразную ландшафтную структуру. Значительные площади края относятся к землям сельскохозяйственного назначения (92,3%, или 6107,1 тыс. га). Сочетание обширных земельных ресурсов и благоприятных почвенно-климатических условий определяет ведущее положение Ставропольского края в области производства продукции растениеводства [1].

Для повышения эффективности сельскохозяйственного производства и снижения антропогенной нагрузки на земельные ресурсы в Ставропольском крае на базе ФГБНУ «Северо-Кавказский феде-

ральный научный аграрный центр» разработана концепция адаптивно-ландшафтного земледелия, в основу которой положен принцип первичности природных ландшафтов.

Ландшафтный подход является основополагающим в изучении агроэкосистем. Он нашёл своё отражение в работах ведущих учёных в области сельскохозяйственной науки [2–4]. По определению А.Н. Каштанова, агроландшафт представляет собой сложную территориально-экологическую и биоэнергетическую систему, в которой всё взаимосвязано и которая выступает в качестве базы для сельскохозяйственного производства [2].

Согласно В.А. Шальневу, в агроландшафте выделяют две подсистемы (природную и антропогенную), которые являются частью территориальной геосистемы сельскохозяйственного типа и в сово-

купности решают проблемы продовольственного обеспечения [4].

Интенсификация сельскохозяйственного производства приводит к формированию экологически уязвимых агроландшафтов, в результате возникает необходимость оценки их состояния и продуктивности.

Для оценки состояния агроландшафтов и последующего перехода к адаптивно-ландшафтным системам земледелия требуется создание обширной атрибутивной и пространственной базы данных. Ведущую роль при анализе пространственной информации играют геоинформационные системы (ГИС), которые находятся в тесной взаимосвязи с данными дистанционного зондирования земли.

Развитие современных ГИС идёт ускоренными темпами, и основным драйвером этого процесса является совершенствование информационных технологий и высокая практическая значимость использования ГИС в различных сферах деятельности, в том числе и в области сельскохозяйственного производства. Важной особенностью современного этапа развития ГИС является создание свободно распространяемых геоинформационных программных продуктов (Quantum GIS) [5] и сервисов (Google Maps, Яндекс карты и т.д.), что стало возможным благодаря активному развитию сетевых технологий передачи информации.

Развитие технологий и методов дистанционного зондирования позволило вывести научные исследования агроландшафтов на качественно новый уровень. Современные космические аппараты позволяют получать данные высокого пространственного разрешения, которые охватывают широкий диапазон электромагнитного излучения, при этом обеспечивая высокую периодичность съёмки (от 1 до 16 суток). Использование архивных спутниковых данных позволяет проводить многолетний мониторинг состояния и продуктивности агроландшафтов [6, 7].

Цель исследования – определить роль геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования земли на примере оценки состояния и продуктивности агроландшафтов Ставропольского края.

Материал и методы исследования. Исследование проводили в рамках тематического плана научно-исследовательских работ в лаборатории ГИС-технологий ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» ФАНО России.

Оценка состояния агроландшафтов Ставропольского края была дана по степени проявления на них процессов линейной водной эрозии, а их продуктивность оценивалась на основе анализа биологической продуктивности озимых зерновых (пшеницы и ячменя), как ведущих культур в крае. В качестве числового индикатора состояния озимой пшеницы и её биологической продуктивности

был использован нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) [8].

В качестве исходных данных использовались архивные картографические материалы, карты внутрихозяйственного землеустройства. Основными источниками информации о современном состоянии и продуктивности агроландшафтов были данные дистанционного зондирования земли:

- мультиспектральные данные сверхвысокого и высокого разрешения со спутников QuickBird, WorldView 1-3, GeoEye, Ikonos, Landsat 8, Sentinel 2a/b;
- радиолокационные топографические данные SRTM (Shuttle Radar Topography Mission);
- мультиспектральные данные среднего и низкого пространственного разрешения со спутника Terra с сенсором MODIS.

Данные дистанционного зондирования земли были получены посредством:

- картографических сервисов (Google Maps, Яндекс карты, Bing Maps);
- архивов Американской геологической службы (USGS), Национального управления по авиации и исследованию космического пространства США (NASA), Европейского космического агентства в рамках программы «Глобальный мониторинг безопасности окружающей среды» (GMES);
- сервиса анализа данных спутниковых наблюдений для оценки и мониторинга возобновляемых биологических ресурсов BEGA-PRO, который разработан в Институте космических исследований РАН [9].

В ходе исследования были применены такие методы дистанционного зондирования, как геометрическая и радиометрическая коррекция данных; синтезирование различных зон электромагнитного спектра; дешифрирование по прямым и косвенным признакам; построение мозаик космических снимков; расчёт вегетационных индексов; создание индексных пространственных моделей.

Также были применены методы геоинформационных (ГИС) технологий: создание и преобразование проекций; наложение данных (оверлейные операции); пространственная выборка; обработка геометрии; картографическая алгебра (Map Algebra); создание цифровой модели рельефа на базе растровых и векторных моделей; пространственный анализ [10].

Результаты исследования. Ставропольский край характеризуется высокой сельскохозяйственной освоенностью территории. Площадь земель сельскохозяйственного назначения составляет 6107,1 тыс. га, из них на долю пашни приходится 3741,9 тыс. га, а на сенокосы и пастбища – 2365,2 тыс. га. Животноводческие отрасли в крае являются экономически невыгодными в силу ряда причин, что нашло отражение в резком снижении поголовья скота и птицы за период 1990–2011 гг. [11].

Снижение поголовья животных обусловило увеличение в 6 раз площади под зерновыми культурами за счёт сокращения площадей под кормовыми культурами, что способствовало формированию экологически неблагоприятной структуры посевных площадей.

Неиспользуемые участки сенокосов и пастбищ в отдельных случаях незаконно распахиваются и вовлекаются в производство растениеводческой продукции. При этом под сенокосы и пастбища часто отводятся земли склоновые или подверженные различным видам деградации. В результате неконтролируемая распашка таких земель усугубляет развитие деградационных процессов.

Использование данных дистанционного зондирования земли и геоинформационных технологий позволило провести анализ пашни Ставропольского края. По космическим снимкам за 2015 г. на территории края было выделено 54430 контуров пахотных земель общей площадью 4073828 га. При этом, по официальным данным управления Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу, на 2015 г. в Ставропольском крае насчитывалось 3741900 га пашни, что было на 331929 га (8% от общей площади) ниже площади, полученной по результатам дистанционного мониторинга. Неучтённая пашня края при средней урожайности озимых зерновых в 34,1 ц/га приводит к получению более 1 млн т неучтённого зерна.

Методы дистанционного зондирования земли и геоинформационные технологии позволяют проводить анализ структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур, что необходимо для формирования экологически благоприятной структуры посевных площадей и повышения устойчивости агроландшафта к антропогенным нагрузкам. В ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» разработана методика дистанционного определения структуры посевных площадей [12]. В основу

методики положена спектральная отражательная способность культур в красной и инфракрасной зонах электромагнитного спектра. На основании этих данных рассчитывается значение нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI. Рассмотрение вегетационного индекса в динамике с последующей группировкой позволило определить уникальную для большинства культур форму кривой хода вегетационного индекса. Однако однозначно идентифицировать все культуры, возделываемые в Ставропольском крае, не удалось (рис. 1). При проведении апробации данной методики на отдельных районах Ставропольского края точность определения структуры посевных площадей составила 82%. В целом по краю отмечается значительное отклонение в структуре посевных площадей по сравнению со статистически учтёнными данными. Выявленное отклонение особенно характерно для озимых зерновых в сторону увеличения и чистых паров в сторону уменьшения фактической площади.

В настоящее время отмечаются глобальные процессы изменения климата на планете. Изменение климата имеет региональные особенности. Так, благодаря использованию ГИС-технологий был проведён пространственный анализ текущих и будущих изменений климата края. За последние 56 лет выявлен рост годовой температуры в крае на $+1,1^{\circ}\text{C}$ и увеличение годового количества осадков на 40 мм, при этом отмечено увеличение осадков ливневого характера. Изменение климата в крае требует корректировки зональных систем земледелия, что оказывает огромное влияние на состояние и прогнозируемую продуктивность агроландшафтов [13].

Во многих аграрных регионах на фоне интенсификации сельскохозяйственного производства и изменения климата на первый план выходит проблема деградации земель, что требует тщательного её изучения для разработки оперативных мер по борьбе с различными видами деградаций.

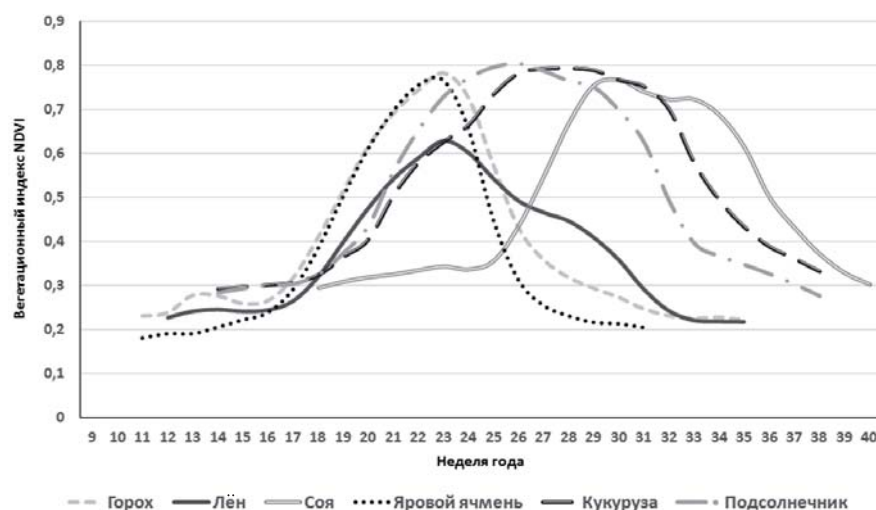


Рис. 1 – Динамика вегетационного индекса NDVI (горох, лён, соя, яровой ячмень, кукуруза, подсолнечник) в Ставропольском крае

В Ставропольском крае наиболее распространены следующие виды деградаций почвенного покрова: засоление, водная эрозия, солонцеватость и т.д.

Использование данных дистанционного зондирования земли и ГИС-технологий позволило проанализировать отдельный аспект, характеризующий состояние агроландшафтов Ставропольского края, а именно развитие процессов линейной водной эрозии на пахотных землях. Количество осадков, формы рельефа, структура почвенного покрова и её инфильтрационные способности, наличие растительного покрова определяют особенности стока. Для территорий с небольшой крутизной склонов характерен плоскостной смыв верхней части гумусного горизонта, а при увеличении крутизны склона происходит образование промоин, оврагов и балок, которые с высокой степенью достоверности дешифрируются на космических снимках в момент отсутствия на полях растительного покрова.

В результате на выделенных, по данным дистанционного зондирования земли, контурах пашни детектировано 25209 км процессов линейной водной эрозии. Суммарная площадь пашни в крае, подверженная в той или иной степени данным видам деградации, составляет 1931 тыс. га (47% от общей площади).

На основе радиолокационных топографических данных (SRTM) при помощи ГИС-технологий была создана цифровая модель рельефа, которая позволила провести морфометрический анализ агроландшафтов края с целью выявления потенциально эрозионно опасных территорий.

Использование пространственной информации о местоположении деградированных участков позволит дать более объективную оценку затрат на проведение противоэрозионных мероприятий и оказывать адресную помощь.

Была проведена оценка потенциальных потерь урожая при условии непроведения противоэрози-

онных мероприятий. Установлено, что негативное влияние линейной водной эрозии в целом по краю к 2026 г. может привести к снижению продуктивности озимой пшеницы на 700 тыс. т. В основу расчёта была заложена продуктивность озимой пшеницы в 2016 г. (42,3 ц/га) как ведущей в крае зерновой культуры.

Увеличение доступности данных дистанционного зондирования земли имеет важное значение для их практического применения в различных областях. Если раньше использование материалов космической съёмки ограничивалось её высокой стоимостью, то в настоящее время на орбите функционируют ресурсные спутники, которые предоставляют актуальные и архивные данные бесплатно, позволяя проводить исследования объектов и явлений в динамике.

Например, данные со спутника Terra с сенсором MODIS, осуществляющим ежедневную съёмку всего земного шара, позволили провести анализ продуктивности агроландшафтов Ставропольского края за период 2001–2017 гг. Данные с указанного спутника интегрированы в сервис «ВЕГА-PRO», разработанный в Институте космических исследований РАН. Благодаря использованию сервиса удалось установить тесную взаимосвязь между продуктивностью озимых зерновых (пшеницы и ячменя) и максимальными значениями вегетационного индекса NDVI, которые приходятся на этап колошение – цветение данных культур. Для прогнозирования их продуктивности в среднем по краю, была разработана регрессионная модель, которая характеризуется высокой степенью достоверности аппроксимации $R^2 = 0,7894$ (рис. 2).

Выводы. Использование данных дистанционного зондирования земли и геоинформационных технологий имеет ключевое значение для решения задач оценки состояния и продуктивности агроландшафтов. Роль спутниковых данных и ГИС на фоне раз-

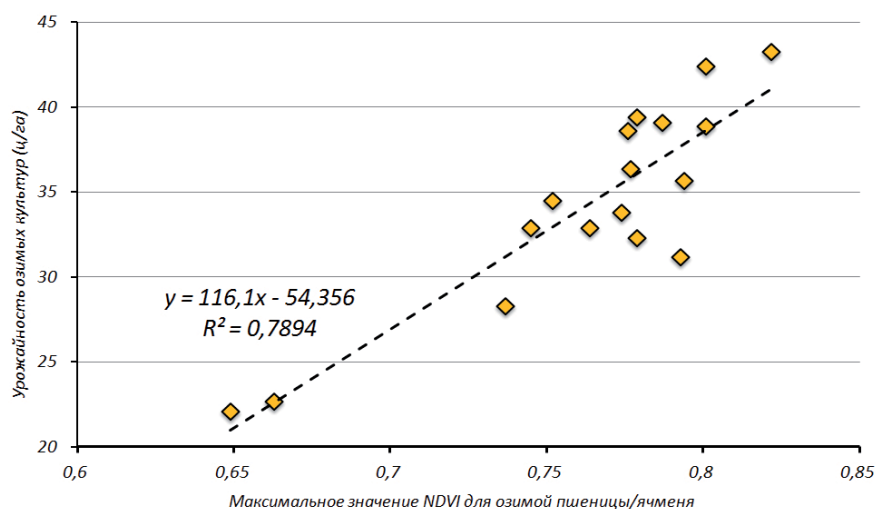


Рис. 2 – Регрессионная модель максимальных значений NDVI и продуктивности посевов озимой пшеницы и ячменя в среднем по территории Ставропольского края за период 2001–2017 гг. (x – значение NDVI, y – продуктивность)

вития информационных технологий и доступности материалов космической съёмки будет возрастать. Так, объективная оценка состояния агроландшафтов позволяет разрабатывать эффективные направления их дальнейшего использования и меры по предотвращению развития негативных процессов. Разработка моделей продуктивности агроландшафтов на базе данных дистанционного зондирования земли позволяет с высокой степенью достоверности прогнозировать будущий урожай, который является основным фактором, оказывающим влияние на продовольственную безопасность России.

Литература

1. Антонов С.А. Оценка развития процессов водной эрозии на территории агроландшафтов Ставропольского края и их влияние на продуктивность / С.А. Антонов, А.Н. Есаулко, М.С. Сигида [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. 2018. № 1 (29). С. 67–72.
2. Кирышин В.И. Основные принципы разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Земледелие. 1996. № 3. С. 42–44; № 4. С. 38–41.
3. Каштанов А.Н. Концепция ландшафтной контурно-мелиоративной системы земледелия // Земледелие. 1992. № 4. С. 2–4.
4. Шальнев В.А., Диденко П.А. К вопросу об изучении структуры агроландшафта // Вестник Ставропольского государственного университета. 1997. № 12. С. 37–43.
5. Руководство пользователя QGIS 2.0. М.: Изд-во «Информационные системы», 2014. 300 с.
6. Куссуль Н.Н. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS / Н.Н. Куссуль, А.Н. Кравченко, С.В. Скакун [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 95–107.
7. Лупян Е.А., Барталев С.А., Савин И.Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // Аэрокосмический курьер. 2009. № 6. С. 47–49.
8. Савин И.Ю. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы / И.Ю. Савин, С.А. Барталев, Е.А. Лупян [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 275–285.
9. Лупян Е.А. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») / Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Барталев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
10. Тикунов, В.С. Основы геоинформатики: в 2 кн. Кн. 1. Учебное пособие для студентов вузов. / Под ред. В.С. Тикунова. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 352 с.
11. Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Желнакова Л.И. [и др.] Система земледелия нового поколения Ставропольского края: монография. Ставрополь, 2013. 520 с.
12. Антонов С.А. Методика определения структуры посевных площадей по данным космической съёмки // Бюллетень СНИИСХ. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2017. № 9. С. 6–12.
13. Антонов С.А. Тенденции изменения климата и их влияние на земледелие Ставропольского края // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (66). С. 43–46.