

Научная статья

Original article

УДК 630*228

DOI 10.55186/25880209_2025_9_6_11

**ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОЗИМОЙ
ПШЕНИЦЫ И КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО В УЧЕБНО-ОПЫТНОМ
ХОЗЯЙСТВЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО ГАУ ШПАКОВСКОГО
МУНИЦИПАЛЬНОГО ОКРУГА СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ**

DIGITALIZATION OF LAND USE AND REMOTE MONITORING OF THE
STATE OF WINTER WHEAT IN THE EDUCATIONAL AND EXPERIMENTAL
FARM OF THE STAVROPOL STATE AGRARIAN UNIVERSITY OF THE
SHPAKOVSKY MUNICIPAL DISTRICT OF THE STAVROPOL TERRITORY



Есаулко Александр Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, директор института агробиологии и природных ресурсов, профессор кафедры агрохимии и физиологии растений, ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, (355017 Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д. 12), тел. +7(962) 400-41-95, ORCID: 0000-0003-0441-9055, E-mail: aesaulko@yandex.ru

Лошаков Александр Викторович, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой землеустройства и кадастра, ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, (355017 Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д. 12), тел. +7(928) 637-98-56, ORCID: 0000-0002-0897-3099, E-mail: alexandrloshakov@mail.ru

Одинцов Станислав Владимирович, кандидат географических наук, доцент,

кафедра землеустройства и кадастра, ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, (355017 Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д. 12), тел. +7(928) 955-73-26, ORCID: 0000-0001-9576-5230, E-mail: qwer20052008@mail.ru

Иванников Дмитрий Игоревич, старший преподаватель, кафедра землеустройства и кадастра, ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, (355017 Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д. 12), тел. +7(918) 751-95-69, ORCID: 0000-0002-8999-1319, E-mail: dim406lipatovo@mail.ru

Ожередова Алена Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой агрохимии и физиологии растений, ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, (355017 Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д. 12), тел. +7(968) 266-06-25, ORCID: 0000-0001-6038-6409, E-mail: alena.gurueva@mail.ru

Yesaulko Alexander Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Dean of the Faculty of Agrobiology and Land Resources, Professor of the Department of Agrochemistry and Plant Physiology, Stavropol State Agrarian University, (355017 Russia, Stavropol, trans. Zootechnical, 12), tel. +7(962) 400-41-95, ORCID: 0000-0003-0441-9055, E-mail: aesaulko@yandex.ru

Loshakov Alexander Viktorovich, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Land Management and Cadastre, Stavropol State Agrarian University, (355017 Russia, Stavropol, trans. Zootechnical, 12), tel. +7(928) 637-98-56, ORCID: 0000-0002-0897-3099, E-mail: alexandrloshakov@mail.ru

Odintsov Stanislav Vladimirovich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Land Management and Cadastre, Stavropol State Agrarian University, (355017 Russia, Stavropol, trans. Zootechnical, 12), tel. +7(928)955-73-26, ORCID:0000-0001-9576-5230, E-mail: qwer20052008@mail.ru

Ivannikov Dmitry Igorevich, Senior Lecturer, Department of Land Management and Cadastre, Stavropol State Agrarian University, (355017 Russia, Stavropol, lane. Zootechnical, 12), tel. +7(918) 751-95-69, ORCID: 0000-0002-8999-1319, E-mail: dim4061ipatovo@mail.ru

Ozheredova Alyona Yuryevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agrochemistry and Plant Physiology, Stavropol State Agrarian University, (355017 Russia, Stavropol, lane. Zootechnical, 12), tel. +7(968) 266-06-25, ORCID: 0000-0001-6038-6409, E-mail: alena.gurueva@mail.ru

Аннотация. Дистанционный мониторинг состояния озимой пшеницы и кукурузы на зерно является актуальной и специфичной проблемой, так как применение современных технических инструментов требует наличия обученных специалистов. Использование космоснимков, применение беспилотных летательных аппаратов и современных систем навигации позволяет получить современные цифровые инструменты по актуальному использованию земель в сельском хозяйстве для последующей интерпретации данной информации в специализированном сервисе. В статье рассматриваются результаты дистанционного мониторинга состояния озимой пшеницы и кукурузы на зерно на основе применения БПЛА и актуальных космоснимков.

Abstract. Remote monitoring of the condition of winter wheat and corn for grain is an urgent and specific problem, since the use of modern technical tools requires the availability of trained specialists. The use of satellite images, the use of unmanned aerial vehicles and modern navigation systems allows us to obtain modern digital tools for the actual use of land in agriculture for subsequent interpretation of this information in a specialized service. The article discusses the results of remote monitoring of the state of winter wheat and corn for grain based on the use of UAVs and current satellite images.

Ключевые слова: озимая пшеница, полета кукуруза на зерно, этого сельскохозяйственные угодья, мониторинг сельскохозяйственных культур

Keywords: winter wheat, corn for grain, agricultural land, crop monitoring

Учебно-опытное хозяйство расположено на северном склоне Ставропольской возвышенности в Грачевско-Калаусском ландшафте лесов и степей и на юго-западном склоне Верхнегорлыкского водораздельного ландшафта типичных лесостепей, имеет сложную конфигурацию. Землепользование учхоза сильно расчленено. Более $\frac{3}{4}$ сельскохозяйственных угодий расположено на склонах крутизной более 1° , что способствует развитию эрозионных процессов. Большое количество балок чередуются с довольно высокими увалами, имеющими в ряде мест крутые склоны с выходом на поверхность материнских пород.

Почва опытного хозяйства представлена черноземом выщелоченным вторично луговатым, сформированным на лессовидных суглинках, тяжелосуглинистым, мощным, слабосмытым. Основу почвенного покрова составляют черноземы обыкновенные и типичные глубокомицеллярно-карбонатные разной мощности и представлены нормальными выщелоченными солончаковатыми разновидностями, главным образом глинистого, тяжелосуглинистого и реже суглинистого механического состава. Залегают они равнинной лесостепи, пониженных частях рельефа, в сравнительно глубоких потяжинах и западинах, в нижних частях, длинных, едва заметных склонов.

При ведении хозяйствования в РФ товаропроизводители используют традиционные технологические операции и методы, повышающие продуктивность производимой продукции. Внедряют орошение, подбирают оптимальные технологии обработки почвы, определяют расчетными способами нормы и дозы минеральных удобрений исходя из данных паспортов агрохимических обследований, по результатам визуальных мониторингов подбирают средства защиты растений и прочее. Бесспорно –

это очень важно и значимо в современных производственных реалиях. В тоже время в США, странах Европа широко используют неинвазивные (дистанционные - беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и наземные спектрометрические) методы для мониторинга посевов на основе спектральной отражательной способности листьев растений.

Исследование выполнено на учебно-опытной станции Ставропольского государственного аграрного университета в 2023-2025 годах в рамках Государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) от «25» апреля 2024 года № 082-03-2024-220/3 на тему «Мониторинг развития сельскохозяйственных культур с помощью не инвазивных и дистанционных методов исследования и принятие оперативных мер по корректировке питания и фитосанитарного состояния».

В целях проведения работ для получения аэрофото данных используется беспилотный летательный аппарат самолётного типа Геоскан 201 Агро (Двухчастотный/трехсистемный бортовой GNSS-приемник с антенной (L1-L2, GPS/ГЛОНАСС/BeiDou)) это функциональный летательный комплекс, предназначенный для мониторинга Земной поверхности. Основная научная задача его использования состоит в том, что бы получить высококачественные снимки земель сельскохозяйственного назначения и провести мониторинг состояния посевов озимой пшеницы и кукурузы. Для этого составляется план полетного задания, далее проводится съемка земельного участка пашни, пастбища и обрабатываются полученные материалы.

В процессе выполнения аэрофотосъемки планирование и управление полета осуществляется в программном продукте ГеоСкан Планер версии 2.8. В программе производится проектирование полетного задания площадной и линейной аэрофотосъемки, а также для видеонаблюдения и работы с различными видами полезной нагрузки. Оператор также использует функции подключения к БПЛА, подготовки к полету, различные

действия в течение полета и первичная обработка данных после приземления.

Далее в камеральных условиях проводится обработка полученных данных в программе Agisoft Metashape – это автономный программный продукт, который выполняет фотограмметрическую обработку цифровых изображений и генерирует 3D-пространственные данные для использования в ГИС-приложениях, документации по культурному наследию и производстве визуальных эффектов, а также для косвенных измерений объектов различного масштаба.

Для поиска общих точек Metashape использует алгоритм, который сначала находит «особые» точки на отдельных фотографиях. Потом на основе уникальных идентификаторов – дескрипторов – точки отождествляются. Если точка опознана на двух и более кадрах, она становится соответствием.

После этого следует выравнивание кадров, оно же – фототриангуляция. Этот процесс реализован с помощью алгоритма Bundle Block Adjustment, в основе которого лежит метод наименьших квадратов. Bundle Block Adjustment – это интерпретация способа связок, самого строгого метода решения фототриангуляции. В расчет могут быть включены координаты точек привязки и проекции маркеров на кадре. Всем параметрам можно задать веса – масштаб их участия в расчете.

Применение геоинформационных систем в сельском хозяйстве является инновационным направлением развития аграрной науки. Отображение на спутниковых или снимков полученных с БПЛА ландшафтов, почв и отдельных сельскохозяйственных культур функционально зависит от их состояния. Неоднородность растительного покрова в пределах поля может свидетельствовать о варьировании свойств и типов почв. Выявить такую неоднородность позволяют арифметические операции с отдельными сценами мультиспектрального снимка.

В целях определения индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный индекс растительности - простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6-0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7-1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять и анализировать растительные от прочих природных объектов.

Методы дистанционного зондирования, согласованные с методами точного земледелия, изучаются в исследованиях на различных сельскохозяйственных угодьях. В последние годы рост доступности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на рынке стимулировал множество приложений в этой области. Дистанционное зондирование в сельском хозяйстве является многообещающей областью, поскольку оно поддерживает междисциплинарный взгляд на различные проблемы, связанные с созданием картографических данных мониторинга сельскохозяйственных культур, а так же применяется в различных областях, таких как контроль окружающей среды, временной анализ, фенология, прогнозирование урожайности и анализ питания. Эти исследования выявили

важность оценки методов и данных зондирования для решения таких задач.

Основным преимуществом использования БПЛА является быстрый сбор данных с больших площадей, а также снижение неточностей, возникающих в результате отбора проб ограниченного подмножества растений. Удаленный мониторинг состояния питательных веществ в посевах может предоставлять пространственную информацию в режиме реального времени для повышения урожайности и минимизации чрезмерного внесения удобрений, если он интегрирован в существующие технологии точного земледелия.

Измерение спектральной отражательной способности листьев с помощью многоспектральных камер, установленных на беспилотных летательных аппаратах, может быть альтернативным методом оценки содержания азота в растениях. С помощью таких камер урожайность кукурузы прогнозируется на основе спектральной информации на различных стадиях.

Эксперименты в сельском хозяйстве проводились на основе участков поля, выделенных для технологии прямого посева, где каждая делянка будет представлять собой участок, засеянный кукурузой по четырем вариантам (контроль (без удобрений), содержание азота на делянке $N_{50}P_{40}K_{40}$, содержание азота на делянке $N_{70}P_{58}K_{54}$, содержание азота на делянке $N_{116}P_{90}K_{84}$).



Рисунок 1 – Схема размещения делянок на земельном участке

В настоящем исследовании для сбора изображений в исследуемой области использовался четырехроторный электрический БПЛА, оснащенный цифровыми RGB- и мультиспектральными камерами. В качестве летательной платформы был выбран DJI Phantom. БПЛА весит 1,4 кг и оснащен автоматизированной системой управления полетом, позволяющей пользователю выполнять операции по заданным точкам маршрута и планировать индивидуальные миссии. Максимальное время полета составляет 27 минут. В качестве аккумулятора используется 6000 мАч, литий-полимерный 2S. Цифровой RGB-сенсор, установленный на БПЛА, был оснащен камерой мультиспектральной съемки на интегрированном 3-осевом подвесе регистрирует изображения одновременно по 6 каналам – в видимом, синем, зеленом, красном, и ближнем инфракрасном диапазоне спектра, а также на частоте красного барьера фотосинтеза с матрицей 2,08 млн. пикселей с CMOS-матрицей.

Съемка с помощью БПЛА с двумя камерами, собирающими цифровые RGB- и мультиспектральные изображения, проводилась в ясную и безоблачную погоду. Полеты БПЛА по исследованию 4 участков

выполнялись на высоте 60 м и скорости 6 м/с, с углом наклона 0° для двух камер и минимальным интервалом между съёмками 2 с. Фронтальное и боковое перекрытие полётов БПЛА составляло 80%.

Исследования на озимой пшенице свидетельствуют о том, что применение только фона $N_{13}P_{60}$ (116 кг/га при посеве аммофоса) достоверной прибавки в урожайности культуры не обеспечивает (+0,23 т/га). Существенное увеличение урожайности по отношению к контролю достигается путем применения на фоне припосевного внесения в фазу кущения возрастающих доз азотных удобрений (+0,70; 1,27; 1,71 и 1,83 т/га).

Исследования на кукурузе на зерно показывают, что корреляция взаимосвязи вегетационного индекса mSR705 и содержания азота в растениях кукурузы по фазам следующая: 3-5 лист – 0,56; выметывание метелки – 0,67; полная спелость – 0,49. Все изучаемые в исследованиях нормы минеральных удобрений относительно контрольного варианта существенно повышали продуктивность кукурузы на зерно на 1,0; 2,0 и 4,0 т/га.

Применение средств дистанционного мониторинга при проведении исследований на озимой пшенице и кукурузе на зерно, позволяют в режиме реального времени иметь данные о развитии растений и применять своевременные меры по корректировке питания для получения больших урожаев качественного зерна.

Литература

1. Архипов А.Г., Косогор С.Н., Моторин О.А. Цифровая трансформация сельского хозяйства России. М.: Росинфор-магротех, 2019. 80 с.
2. Выбор и размещение сельскохозяйственной культуры с использованием искусственного интеллекта / В. К. Каличкин, Р. А. Корякин, Т. А. Лужных и др. // Достижения науки и техники АПК. 2019. №10. С. 67-70.
3. Голосной, Е.В. Изучение влияния систем удобрения построенных на различных принципах на динамику агрохимических показателей чернозема выщелоченного и продуктивность озимой пшеницы / Е.В. Голосной, М.С. Сигида, А.И. Подколзин, А.Ф. Донцов, В.Г. Сычев, А.А. Куценко // Вестник

АПК Ставрополя. – 2016. – № 1 (21). – С. 167-171.

4. Логинов Н. А., Сабирзянов А. М. Разработка методики оперативной оценки состояния посевов озимых культур в ранневесенний период с применением БПЛА // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 4 (51). С. 56-60.

5. Модели продуктивности растений кукурузы в зависимости от подкормок комплексными удобрениями при выращивании в Центральной зоне Краснодарского края / А. Х. Шеуджен, О. А. Подколзин, Д. К. Марченко // Агрохимический вестник. 2025. № 3. С. 3-7. DOI 10.24412/1029-2551-2025-3-001.

6. Мониторинг развития растений озимой пшеницы на чернозёме выщелоченном с использованием не инвазивных и традиционных методов определения содержания азота почва - растения / В. Н. Ситников, А. Н. Есаулко, Е. А. Устименко, Е.В. Письменная, А.С. Котова // International Agricultural Journal. 2024. Т. 67, № 6. DOI 10.55186/25880209_2024_8_6_32.

7. Ревякин Е.Л. Ресурсосберегающие технологии: состояние, перспективы, эффективность / Е.Л. Ревякин, А.Т. Табашников, Е.М. Самойленко, В.И. Драгайцев.- М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011.- 156 с.

8. Чулок А. АПК будущего. Взгляд на сельское хозяйство сквозь призму анализа больших данных // Агроинвестор. 2019. № 3.

Literature

1. Arkhipov A.G., Kosogor S.N., Motorin O.A. Digital transformation of Russian agriculture. Moscow: Rosinfor-magrotek, 2019. 80 p.

2. Selection and placement of agricultural crops using artificial intelligence / V.K. Kalichkin, R.A. Koryakin, T.A. Luzhnykh, et al. // Achievements of science and technology in the agro-industrial complex. 2019. No. 10. pp. 67-70.

3. Golosnoy, E.V. Study of the influence of fertilization systems built on different principles on the dynamics of agrochemical indicators of leached chernozem and the productivity of winter wheat / E.V. Golosnoy, M.S. Sigida, A.I. Podkolzin, A.F. Dontsov, V.G. Sychev, A.A. Kutsenko // Bulletin of the agro-industrial complex of

Ставропол. – 2016. – No. 1 (21). – P. 167-171.

4. Loginov N. A., Sabirzyanov A. M. Development of a methodology for the rapid assessment of the condition of winter crops in the early spring period using UAVs // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2018. Vol. 13. No. 4 (51). P. 56-60.

5. Models of corn plant productivity depending on fertilizing with complex fertilizers when growing in the Central zone of Krasnodar Krai / A. Kh. Sheudzhn, O. A. Podkolzin, D. K. Marchenko // Agrochemical Bulletin. 2025. No. 3. P. 3-7. DOI 10.24412/1029-2551-2025-3-001.

6. Monitoring the development of winter wheat plants on leached chernozem using non-invasive and traditional methods for determining the soil-plant nitrogen content / V. N. Sitnikov, A. N. Esaulko, E. A. Ustimenko, E. V. Pismennaya, A. S. Kotova // International Agricultural Journal. 2024. Vol. 67, No. 6. DOI 10.55186/25880209_2024_8_6_32.

7. Revyakin E. L. Resource-saving technologies: status, prospects, efficiency / E. L. Revyakin, A. T. Tabashnikov, E. M. Samoylenko, V. I. Dragaytsev. - Moscow: FGBNU "Rosinformagrotech", 2011. - 156 p.

8. Chulok A. AIC of the future. A look at agriculture through the prism of big data analysis // Agroinvestor. 2019. No. 3.

© Есаулко А.Н., Лошаков А.В., Одинцов С.В., Иванников Д.И., Ожередова А.Ю.
International agricultural journal. 2025. №6, 143-172

Для цитирования: Есаулко А.Н., Лошаков А.В., Одинцов С.В., Иванников Д.И., Ожередова А.Ю. ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО В УЧЕБНО-ОПЫТНОМ ХОЗЯЙСТВЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО ГАУ ШПАКОВСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО ОКРУГА СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ // International agricultural journal. 2025. №6, 143-172