

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Оригинальная научная статья
УДК 631.6: 332.33: 005.584.1 (470.23)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-2-6-02>



Совершенствование методики мониторинга осушаемых земель на основе применения данных дистанционного зондирования Земли (на примере Ленинградской области)

Юрий Германович Безбородов, Алина Олеговна Дорожкина

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юрий Германович Безбородов; ubezborodov@rgau-msha.ru

Аннотация

В статье рассматривается вопрос совершенствования методики мониторинга гидромелиоративной системы. Целью исследований является обоснование применения цифровых технологий для совершенствования методики проведения мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в условиях изменяющегося климата. Исследования проводились в 2022-2024 гг. Объектом исследований является массив сельскохозяйственных земель (в частности, поле 10-0) филиала «Меньково» в Гатчинском районе Ленинградской области, характеризующийся избыточным увлажнением, высоким уровнем грунтовых вод и нуждающийся в оптимизации работы гидромелиоративной системы. Для анализа статистических данных об уровне грунтовых вод на исследуемом массиве были пробурены скважины на ключевых участках. На основании фото- и видеоматериалов, полученных при рекогносцировке массива, а также статистических данных об уровне грунтовых вод выбрано наиболее показательное поле для исследований. Визуальный и анализ индекса NDVI по стадиям вегетации озимой пшеницы, а также динамики уровня грунтовых вод выявил корреляцию между высоким уровнем грунтовых вод и угнетением растительности. Рабочая гипотеза о неэффективности проведения мониторинга без указания конкретных дат подтвердила свою актуальность. На основе анализа эффективности использования NDVI были обоснованы сроки проведения мониторинга, что позволило с учетом потерь при анализе данных мониторинга (от 5 до 9%) повысить показатели урожайности с 52,7 до 59,1 ц/га. Общие затраты на проведение мониторинга в уточненные сроки по стадиям вегетации в течение всего вегетационного периода составят 128000 руб. ежегодно.

Ключевые слова

мониторинг, гидромелиоративная система, индекс NDVI, урожайность, осушаемые земли Ленинградской области

Для цитирования

Безбородов Ю.Г., Дорожкина А.О. Совершенствование методики мониторинга осушаемых земель на основе применения данных дистанционного зондирования Земли (на примере Ленинградской области) // *Тимирязевский биологический журнал*. 2025. Т. 3, № 2. С. 202532602. <http://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-2-6-02>

LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Original article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-2-6-02>



Optimizing remote sensing-based methodology for drained land monitoring: a case study of the Leningrad Region

Yuriy G. Bezborodov, Alina O. Dorozhkina

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Yuriy G. Bezborodov; ubezborodov@rgau-msha.ru

Abstract

This article addresses the need to improve the methodology for monitoring hydro-reclamation systems. The study aims to justify the use of digital technologies to enhance the monitoring of agricultural land in response to a changing climate.

The research was conducted between 2022 and 2024. The subject of the research is a tract of agricultural land – specifically, field 10-0 within the Menkovo Branch, located in the Gatchina District of the Leningrad Region. This land is characterized by excessive moisture and a high groundwater level, necessitating optimization of its hydro-reclamation system. To analyze groundwater levels in the study area, wells were drilled in key locations. Based on reconnaissance photo and video documentation, and statistical groundwater level data, the most representative field for research was selected. Visual analysis and NDVI index analysis corresponding to winter wheat growth stages, combined with groundwater level dynamics, revealed a correlation between elevated groundwater levels and suppressed vegetation. The working hypothesis that monitoring without specifying precise dates is ineffective was supported. Analyzing the efficiency of NDVI data, the study identified optimal monitoring times. Factoring in losses observed in the monitoring data analysis (ranging from 5% to 9%), this targeted monitoring approach is projected to increase yields from 52.7 c/ha to 59.1 c/ha. The estimated total cost of implementing this stage-specific monitoring program throughout the growing season is 128,000 rubles annually.

Keywords

Monitoring, hydro-reclamation systems, NDVI index, productivity, drained lands of the Leningrad region

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

For citation

Bezborodov Yu.G., Dorozhkina A.O. Optimizing remote sensing-based methodology for drained land monitoring: a case study of the Leningrad Region. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(2):202532602. <http://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-2-6-02>

Введение

Introduction

В условиях изменения климата необходимо иметь точный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур. Применение цифровых технологий затрудняется тем, что нормативные документы по проведению мониторинга, регулирующие деятельность контролирующих органов, не отвечают современным требованиям. В связи с этим мониторинговые действия по предупреждению негативного влияния природно-климатических условий на посевы с.-х. культур являются актуальными. Научная новизна заключается в разработке рекомендаций по совершенствованию работы гидромелиоративной системы по результатам проведенного мониторинга.

Методика проведения мониторинга, утвержденная Министерством сельского хозяйства РФ, отражена в приказе от 24 декабря 2015 г. № 664 «Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». В приказе не указаны точные сроки проведения мониторинга земель сельскохозяйственного назначения: «...периодические наблюдения – система мероприятий по сбору и обработке информации за состоянием сельскохозяйственных земель, в том числе их фактическом использовании, и состоянием почв, проводимых не реже одного раза в 5 лет с использованием наземных наблюдений и (или) данных дистанционного зондирования Земли» [1].

Цель исследований: совершенствование методики мониторинга земель сельскохозяйственного назначения с применением данных дистанционного зондирования Земли и индекса NDVI для своевременного выявления высокого уровня грунтовых вод для предотвращения негативного воздействия на посевы зерновых культур.

Методика исследований

Research method

Мониторинг земель – комплексная деятельность, представляющая собой систему наблюдений, направленную на отслеживание изменений, анализ и оценку состояния земельных ресурсов под воздействием природных и антропогенных факторов с целью рационального использования.

В данной работе были применены как наземные, так и дистанционные методы мониторинга [2].

Анализ проводился с помощью индекса NDVI. Индекс нормализованной разности вегетации (NDVI) отражает здоровье растений и позволяет определить количество активной фотосинтетической биомассы. Здоровые растения с крепкой клеточной структурой и достаточным количеством хлорофилла эффективно поглощают красный свет и отражают инфракрасный. В случае нездоровых растений этот процесс нарушается и отражение красного света снижается [3-5].

NDVI вычисляется на основе разницы между ближним инфракрасным (NIR) и красным (RED) спектральными диапазонами (1):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}, \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; Red – отражение в красной области.

Объектом исследований является массив, расположенный на базе филиала «Меньково» АФИ¹. Меньковская опытная станция расположена в округах деревень Меньково и старое Колено

¹ Рабочая документация «Капитальный ремонт осушительной сети и культуртехнические работы на участке «Голино» Меньковской опытной станции АФИ в Гатчинском районе Ленинградской области». 2020. 123 с.

Гатчинского района Ленинградской области. Центральная усадьба находится в д. Меньково, в 18 км от г. Гатчины и в 60 км от г. Санкт-Петербурга.

Климат Ленинградской области относится к типу умеренного с избыточным увлажнением. [6]

Средняя годовая температура понижается с запада на северо-восток от +4,5 до +2 град. Относительная влажность воздуха всегда высокая: от 60% летом до 85% зимой.

В течение года осадки распределяются неравномерно. Основная часть их приходится на теплый период года – 55-56% от годового количества. Количество осадков за теплый период (апрель-октябрь) составляет от 450 до 550 мм.

Осадки холодного периода (ноябрь-март) составляют примерно 40-45% годовых. За холодный период выпадает 150-200 мм осадков. [6] Гидрографическая сеть на участке осушения представлена временными водотоками в виде каналов осушительной сети. Наиболее крупным из них является магистральный канал МК-1, протекающий по западной границе участка.

Основным водоприемником для мелиорируемого участка является река Суйда, которая относится к бассейну реки Оредеж. Берега реки высотой 1-1,5 м сложены песчаными супесчаными грунтами, местами суглинистыми. Ширина русла в межень составляет 6-8 м. В районе деревни Меньково река на протяжении 5 км порожиста, глубина на порогах – 0,1-0,5 м [6].

Почвообразующими породами являются моренные отложения, в основном легкого механического состава: супеси и пески, которые заключают в себе прослой легкого суглинка. Местами суглинки залегают с поверхности. Мощность моренных отложений составляет в основном 1-1,5 м [6].

Дополнительное влияние на почвообразование оказывают поверхностные и почвенно-грунтовые

воды: поверхностные – при выходе моренных суглинков на поверхность; почвенно-грунтовые – при двучленном строении профиля с облегченной верхней частью (супеси на суглинках).

Таким образом, почти все почвы участка развиваются в условиях смешанного водного питания. Почва на поле 10-0 – дерново-слабоподзолистая среднекультуренная легкосуглинистая с содержанием гумуса 2,07%, обменного кальция – 8,38 ммоль/100 г, магния – 2,88 ммоль/100 г, подвижных соединений фосфора и калия – 565 и 140 мг/кг, аммонийного и нитратного азота – 12,37 и 8,21 мг/кг, рНКС1 5,7. Мощность пахотного слоя составляет 22 см. Почвы данного участка (особенно почвы подзолистого ряда: дерново-подзолистые, дерново-подзолисто-глееватые и дерново-подзолисто-глеевые) нуждаются в известковании и внесении органоминеральных удобрений, особенно фосфорсодержащих [6].

Исследованный участок расположен на Ордовинском плато на правом берегу реки Суйды, в пределах поймы и пойменной террасы. Абсолютные отметки в пределах участка изменяются от 77,4 до 107,0 м. Общий уклон участка – на северо-восток [6].

В период с 2020 по 2022 гг. в хозяйстве проводился регулярный мониторинг посевов с периодичностью один раз в две недели на протяжении всего периода вегетации культур. Урожайность озимой пшеницы (Московская 39) на разных полях рассматриваемого массива различалась в диапазоне от 51 до 58 ц/га. В 2024 г. нами были заложены ключевые участки для верификации данных, полученных с использованием БПЛА, для совершенствования методики. При помощи БПЛА Геоскан-401 были получены фото- и видеоматериалы, позволяющие оценить состояние обследуемого участка. Их фрагменты представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Состояние земель на обследуемом участке (источник: рабочая документация станции АФИ)

Fig. 1. Condition of the lands in the surveyed area (source: working documentation of the station of the Agrophysical Research Institute)

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В рамках практической части исследования был проведен анализ статистических данных об уровне грунтовых вод на исследуемом массиве в Ленинградской области. Для этого использовались данные, полученные с помощью замера воды в пробуренных скважинах на ключевых участках. На основании фото- и видеоматериалов, полученных при рекогносцировке массива, а также статистических данных об уровне грунтовых вод выбрано в качестве наиболее показательного поле с номером 10-0 для проведения дальнейшего анализа, которое расположено в северо-восточной части массива. Данные об уровне грунтовых вод на выбранном поле в период вегетации озимой пшеницы с сентября 2023 г. по июль 2024 г. сведены в таблицу 1.

Исходя из данных таблицы 1, можно сделать вывод о том, что уровень грунтовых вод на протяжении всего периода вегетации озимой пшеницы был выше оптимального (в первый месяц вегетации – 0,6 м, в остальной период – 0,9 м). Это негативно сказалось на состоянии растений и привело к снижению урожайности.

Поскольку регулярный мониторинг требует больших материальных и временных затрат, в рамках эксперимента было принято решение провести в 2023-2024 гг. мониторинг в критические сроки выращиваемых культур.

Методика проведения мониторинга, установленная Минсельхозом, не содержит данных

о сроках проведения мониторинга для озимой пшеницы. Однако проведение мониторинга в установленные сроки, соответствующие критическим фазам развития растений, является крайне важным по нескольким причинам [8]:

1. Определение оптимальных сроков агротехнических мероприятий. Мониторинг посевов в критически важные фазы их развития позволяет эффективно планировать и осуществлять агротехнические мероприятия – такие, как обработка пестицидами и орошение. Это способствует оптимизации ухода за растениями и повышению их урожайности.

2. Оценка состояния посевов. Мониторинг в критические фазы развития растений позволяет оценить их состояние и своевременно выявить возможные проблемы (например, болезни, вредители, недостаток питательных веществ) и принять меры по их устранению. Это способствует сохранению здоровья растений и повышению их продуктивности.

3. Прогнозирование урожайности. Мониторинг в ключевые фазы развития растений позволяет прогнозировать урожайность, основываясь на текущем состоянии посевов и условиях окружающей среды. Это важно для планирования сбора урожая и подготовки к нему.

Сроки мониторинга озимой пшеницы в критические сроки в условиях данного массива, расположенного в Гатчинском районе Ленинградской области, были ранее определены исходя из данных посева (10 сентября) и статистических данных хозяйства (табл. 2).

Таблица 1

Уровень грунтовых вод на полях в период вегетации озимой пшеницы 2023-2024 гг., м

Номер поля	Месяц										
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
10-0	0,79	0,54	0,47	–	–	–	0,24	0,36	0,69	0,96	1,14

Table 1

Groundwater level in selected fields during the winter wheat growing season 2023-2024 (m)

Field number	Month										
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
10-0	0.79	0.54	0.47	–	–	–	0.24	0.36	0.69	0.96	1.14

Сроки мониторинга озимой пшеницы в критические сроки в условиях конкретного хозяйства в Ленинградской области

Критическая фаза	Конкретные сроки
Закладка органов (появление 3 листа, начало кущения)	25-30 сентября
Стеблевание (выход в трубку)	20-25 апреля
Производство резервных веществ (флаговый лист)	10-15 мая
Накопление резервных веществ (колошение)	1-5 июня

Table 2

Winter wheat monitoring schedule: critical times, specific Leningrad Region farm

Critical growth phase	Specific dates
Organogenesis (3-leaf stage, start of tillering)	September 25-30
Stem extension (booting)	April 20-25
Reserve substance production (flag leaf stage)	May 10-15
Reserve substance accumulation (earing)	June 1-5

Поле 10-0 расположено в северо-восточной части массива, значения уровня грунтовых вод выше среднего по массиву. Осушается закрытым дренажем, но при пешем осмотре были выявлены нерабочие элементы осушительной сети и запланирована ее реконструкция.

Фаза от посадки до кущения (27 сентября 2023 г.): на снимке NDVI (рис. 2) зафиксированы низкие значения в понижениях, где в осенний и весенний периоды на поверхности почвы скапливается вода, что вызывает стресс у растений по причине избыточной влажности. (Снимки получены из архивных материалов Меньковской опытной станции АФИ и представлены в статье в неизменном виде.)

Общие характеристики поля: снимок NDVI показывает вариации в плотности растительного покрова. В целом поле демонстрирует разные оттенки зеленого, что свидетельствует о неоднородности состояния посевов.

Проблемные зоны: на снимке видны несколько областей, особенно в северной части поля, с индексами 0,2 и ниже. Данные зоны с низкими

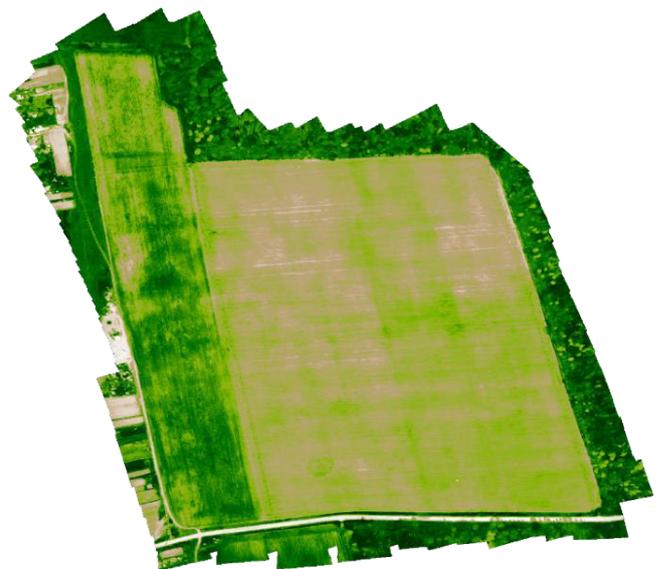


Рис. 2. Поле 10-0 в фазе закладки органов (источник: рабочая документация станции АФИ)

Fig. 2. Field 10-0 in the organogenesis phase (source: working documentation of the station of the Agrophysical Research Institute)

значениями NDVI указывают на плохое состояние растительности. Это может говорить о том, что растения прекратили осеннюю вегетацию на ранней фенологической фазе, до кущения или погибли.

В условиях высокого уровня грунтовых вод (меньше 0,9 м от поверхности почвы) это может быть связано с нарушением нормального дыхания корней, что приводит к кислородному голоданию и затруднению роста растений, а также с развитием корневых гнилей и других заболеваний, негативно влияющих на всходы.

Здоровые зоны: несмотря на присутствие проблемных зон, западная часть поля показывает достаточно высокие значения NDVI (0,3-0,4), что свидетельствует о более благоприятных условиях для роста. Однако эти участки находятся в более возвышенных местах или на участках с лучшим дренажем.

Фаза стеблевания (21 апреля 2024 г.). Снимок показывает сохранение низкого значения NDVI (рис. 3) на тех же участках с высоким уровнем грунтовых вод, подтверждая, что растения находятся в угнетенном состоянии и плохо развиваются. Большая часть развивается нормально.

Общие характеристики поля: снимок NDVI показывает неоднородность в плотности растительного покрова. Разные оттенки зеленого на снимке свидетельствуют о неоднородности состояния посевов.

Проблемные зоны: на снимке видны несколько областей, особенно в северной части и в центре поля, с индексами 0,3 и ниже. По сравнению с предыдущей фазой индекс увеличился, однако все еще не соответствует норме. Зоны со значениями NDVI, близкими к 0, также сохранились. Уже можно сделать вывод о том, что урожайность снизится за счет плохого развития и гибели части растений в этих зонах на 3%, а при сохранении высокого уровня грунтовых вод на протяжении всей фазы стеблевания – еще на 1-2% по причине потенциального снижения числа колосков и зерен [2, 8-10].

Здоровые зоны. Проблемные зоны продолжают присутствовать, западная и восточная части поля показывают значения NDVI, близкие к оптимальным (0,5-0,6), что свидетельствует о сохранении благоприятных условий для роста.

Период производства резервных веществ (в фазу стеблевания) (12 мая 2024 г.). Снимок NDVI (рис. 4) показал низкие значения индекса на тех же участках, что и ранее, но основная масса растительности имеет оптимальные для фазы индексы.

Общие характеристики поля: снимок NDVI показывает неоднородность в плотности растительного покрова. Снимок выглядит более пестрым, участки с пониженным значением индекса и их контуры видны более четко, неоднородность посевов сохраняется.

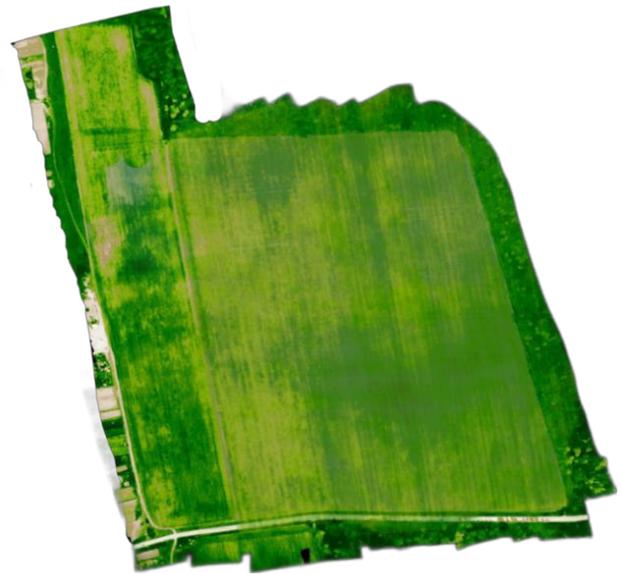


Рис. 3. Поле 10-0 в фазе стеблевания (источник: рабочая документация станции АФИ)

Fig. 3. Field 10-0 during stem extension (source: working documentation of the station of the Agrophysical Research Institute)

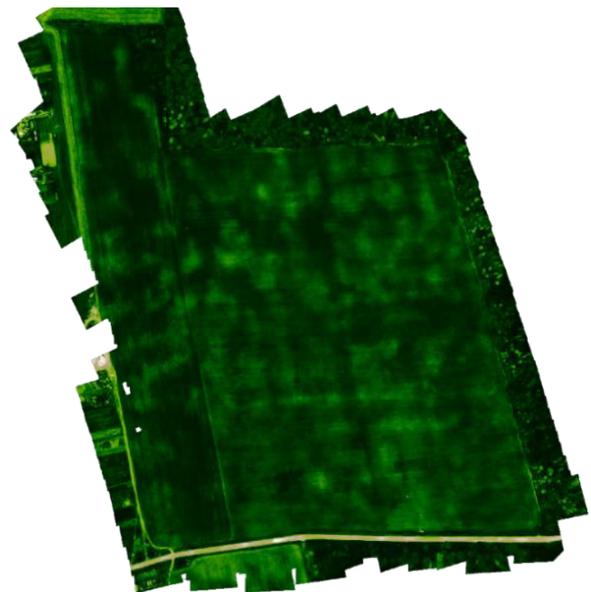


Рис. 4. Поле 10-0 в фазе производства резервных веществ (источник: рабочая документация станции АФИ)

Fig. 4. Field 10-0 during reserve substance production (source: working documentation of the station of the Agrophysical Research Institute)

Проблемные зоны: на снимке видно множество мелкоконтурных областей, особенно в северной части поля, с индексами 0,3 и ниже, не соответствующими норме. Зоны со значениями NDVI, близкими к 0, также сохранились. Можно прогнозировать снижение урожайности при сохранении

высокого уровня грунтовых вод на протяжении всей фазы производства резервных веществ еще на 1-2% ввиду потенциального снижения массы зерен.

Здоровые зоны: несмотря на присутствие проблемных зон, основная площадь поля показывает оптимально высокие значения NDVI (0,7-0,8), что свидетельствует об улучшении условий для роста в связи с естественным снижением уровня грунтовых вод.

Период накопления резервных веществ (3 июня 2024 г.). Снимок NDVI (рис. 5) показал низкие значения индекса на тех же участках что и ранее, но основная масса растительности имеет оптимальные для фазы индексы.

Общие характеристики поля: снимок NDVI показывает неоднородность в плотности растительного покрова. Снимок выглядит так же пестро, участки с пониженным значением индекса и их контуры видны более четко, неоднородность посевов сохраняется.

Проблемные зоны: на снимке видно множество мелкоконтурных областей, особенно в северной части поля, с индексами 0,3 и ниже, не соответствующими норме. Зоны со значениями NDVI, близкими к 0, также сохранились. Можно прогнозировать снижение урожайности при сохранении высокого уровня грунтовых вод на протяжении всего периода производства резервных веществ еще на 1-2% ввиду потенциального снижения массы зерен.

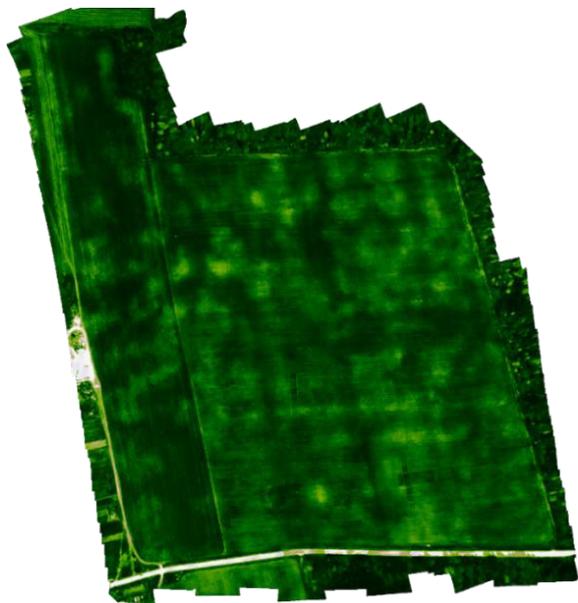


Рис. 5. Поле 10-0 в фазе накопления резервных веществ (источник: рабочая документация станции АФИ)

Fig. 5. Field 10-0 during reserve substance accumulation (source: working documentation of the station of the Agrophysical Research Institute)

Здоровые зоны: несмотря на присутствие проблемных зон, основная площадь поля имеет достаточно высокие значения NDVI (повтор) (0,6-0,7), оптимальные для периода накопления резервных веществ. По сравнению со значениями в прошлой фазе индексы снизились, что свидетельствует о приближении сроков уборки урожая на данных полях.

Анализ данных об уровне грунтовых вод и снимков NDVI показывает четкую корреляцию между высоким уровнем грунтовых вод и угнетением растительности. На участках с высоким уровнем грунтовых вод (менее 1,0 м от поверхности в летний период) наблюдаются низкие значения NDVI, что свидетельствует о негативном влиянии избыточной влажности.

Планируемая урожайность для массива составляет 62 ц/га. С учетом при анализе данных мониторинга потерями (от 5 до 9%), фактическая урожайность должна составлять не менее 52,7 ц/га.

После уборки урожая в 2024 г. была выполнена оценка урожайности озимой пшеницы на полях массива. На поле 10-0 урожайность составила 59,1 ц/га, что ниже стандарта по региону.

Средние потери урожайности составили 6,5%, что соответствует прогнозируемому, но считаются слишком большими (допустимо не более 2% [10]).

На основании данных о потерях урожая и мониторинга состояния осушительной сети были разработаны следующие рекомендации.

1. Точный анализ проблемных зон. Провести дополнительные полевые обследования конкретных участков для выявления точных причин низкого NDVI. Это может включать в себя почвенные анализы, проверки на наличие вредителей и болезней, а также оценку водного режима [2, 3].

2. Агротехнические и мелиоративные мероприятия:

- Внести корректировку дозы азотного удобрения в связи с выявлением проблем с питанием растений.
- Обеспечить правильный водный режим за счет проведения реконструкции элементов осушительной сети: провести ремонт проводящих каналов, регулирующего канала, произвести реконструкцию элементов закрытой осушительной сети (дрен и коллекторов).

3. Мониторинг и повторный анализ:

- Проводить мониторинг состояния посевов с помощью NDVI в строго обозначенные для озимой пшеницы критические сроки.
- Разработать критические сроки мониторинга для всех культур севооборота массива
- Сравнить результаты мониторинга в динамике, чтобы оценить эффективность принятых мер и вносить необходимые коррективы.

Выводы Conclusions

В ситуации, рассмотренной в данной работе, использование мониторинга в критические фазы развития культуры может быть целесообразным и экономически выгодным при выполнении ряда рекомендаций. Такой мониторинг позволил существенно снизить затраты на проведение обследований, сохранив при этом достаточный уровень контроля над состоянием растений.

Рабочая гипотеза о неэффективности проведения мониторинга без указания конкретных дат подтвердила свою актуальность. На основе анализа эффективности использования NDVI были обобщены сроки проведения мониторинга.

Анализ данных о грунтовых водах и снимков NDVI показывает четкую корреляцию между высоким уровнем грунтовых вод и угнетением растительности.

Планируемая урожайность для массива составляет 62 ц/га. С учетом потерями (от до 9%) фактическая урожайность должна составлять не менее 52,7 ц/га. После уборки урожая в 2024 г. была выполнена оценка урожайности озимой пшеницы на полях массива. На поле 10-0 урожайность составила 59,1 ц/га, что ниже стандарта по региону. Общие затраты на проведение регулярного мониторинга в течение всего вегетационного периода составят 128000 руб. ежегодно.

Список источников

1. Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения: приказа Минсельхоза России от 24 декабря 2015 г. № 664, ред. от 19 июня 2024 г. // *Консультант Плюс*. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_195686
2. Гиниятов И.А. *Мониторинг земель и объектов недвижимости*: Учебное пособие. Новосибирск: СГУГиТ, 2017. 131 с.
3. Liu S., Peng D., Zhang B., Chen Z. et al. The Accuracy of Winter Wheat Identification at Different Growth Stages Using Remote Sensing. *Remote Sensing*. 2022;14(4):893. <https://doi.org/10.3390/rs14040893>
4. Sishodia R.P., Ray R.L., Singh S.K. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*. 2020;12(19):3136. <https://doi.org/10.3390/rs12193136>
5. Мишуров Н.П., Петухов Д.А., Свиридова С.А., Подольская Е.Е. и др. Эффективность применения элементов координатного земледелия при производстве озимой пшеницы // *Техника и оборудование для села*. 2022. № 8 (302). С. 44-48. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-8-44-48>
6. Безбородов Г.А., Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. Совершенствование методики мониторинга солевого режима орошаемых земель // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2008. № 6. С. 29-31. EDN: JXGCSL
7. Таркинский В.Е., Иванов А.Б., Петухов Д.А., Бондаренко Е.В. Прогнозирование урожайности озимой

References

1. On the approval of the procedure for implementing state monitoring of agricultural lands: Order of the Ministry of Agriculture of Russia No. 664 of December 24, 2015, amended June 19, 2024. *Consultant Plus*. (In Russ.) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_195686
2. Giniyatov I.A. *Monitoring of lands and real estate*: a textbook. Novosibirsk, Russia: Siberian State University of Geosystems and Technologies, 2017:131. (In Russ.)
3. Liu S., Peng D., Zhang B., Chen Z. et al. The Accuracy of Winter Wheat Identification at Different Growth Stages Using Remote Sensing. *Remote Sensing*. 2022;14(4):893. <https://doi.org/10.3390/rs14040893>
4. Sishodia R.P., Ray R.L., Singh S.K. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*. 2020;12(19):3136. <https://doi.org/10.3390/rs12193136>
5. Mishurov N.P., Petukhov D.A., Sviridova S.A., Podolskaya E.E. et al. Effectiveness of the use of coordinate farming elements in the production of winter wheat. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022;(8(302)):44-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-8-44-48>
6. Bezborodov G.A., Bezborodov A.G., Bezborodov Yu.G. Improvement of monitoring methods for salinized irrigated lands. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*. 2008;(6):29-31. (In Russ.)
7. Tarkivskiy V.E., Ivanov A.B., Petukhov D.A., Bondarenko E.V. Forecasting winter wheat yield using satellite monitoring.

- пшеницы при помощи спутникового мониторинга // *АгроФорум*. 2023. № 2. С. 84-87. <https://doi.org/10.24412/cl-34984-2023-2-84-87>
8. Спирин Ю.А., Пунтусов В.Г. Тенденции и перспективы развития гидромелиоративного комплекса Славского района Калининградской области // *Овощи России*. 2021. № 2. С. 86-92. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-86-92>
9. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Безбородов Ю.Г., Карлыханов Т.К. Технология промывки засоленных почв с учетом экологического ограничения // *Проблемы управления водными и земельными ресурсами: Материалы Международного научного форума: В 3 ч. Ч. 2. Москва, 30 сентября 2015 г.* Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. С. 31-40. EDN: USOCNM
10. Стафийчук И.Д., Хисамов Р.Р., Безбородов Ю.Г. *Территориальное планирование. Научная основа и практика: Учебное пособие.* Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2024. 190 с. EDN: FSAAGW
- AgroForum*. 2023;(2):84-87. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/cl-34984-2023-2-84-87>
8. Spirin Yu.A., Puntusov V.G. Trends and prospects for the development of the irrigation and drainage complex of the Slavsky district of the Kaliningrad region. *Vegetable Crops of Russia*. 2021;(2):86-92. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-86-92>
9. Mustafaev Zh.S., Kozykееva A.T., Bezborodov Yu.G., Karlykhanov T.K. Technology of washing saline soils taking into account environmental restrictions. *Mezhdunarodnyy nauchnyy forum 'Problemy upravleniya vodnymi i zemelnymi resursami'. September 30, 2015.* Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2015;2:31-40. (In Russ.)
10. Stafiychuk I.D., Khisamov R.R., Bezborodov Yu.G. *Territorial planning. Scientific basis and practice: a textbook.* Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2024:190. (In Russ.)

Сведения об авторах

Юрий Германович Безбородов, и.о. заведующего кафедрой землеустройства и лесоводства, доктор технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ubezborodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5293-2342>

Алина Олеговна Дорожкина, магистрант кафедры землеустройства и лесоводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49

Статья поступила в редакцию 10.05.2025
Одобрена после рецензирования 10.06.2025
Принята к публикации 23.06.2025

Information about the authors

Yuriy G. Bezborodov, DSc (Eng), Associate Professor, Acting Head of the Department of Land Management and Forestry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: ubezborodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5293-2342>

Alina O. Dorozhkina, Master's degree student of the Department of Land Management and Forestry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation.

The article was submitted to the editorial office May 10, 2025
Approved after reviewing June 10, 2025
Accepted for publication June 23, 2025