УДК 631 DOI: 10.34736/FNC.2026.133.2.006.55-61

Выявление зон деградационной опасности орошаемого поля дистанционными методами

Калиниченко Р. В.[1], Романовская А. Ю.[1], Беденко А. Е.[2]✉
[1]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»,
г. Москва, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения
и сельхозводоснабжения «Радуга», Московская обл., Россия

Аннотация. Интенсивное сельское хозяйство в аридных и семиаридных условиях юга России неразрывно связано с мелиоративными системами. Однако орошение, являясь мощным инструментом, одновременно выступает катализатором специфических деградационных процессов, таких как вторичное засоление, подтопление и утрата почвенной структуры. В данной работе представлена авторская методика идентификации зон деградационной опасности на орошаемых массивах Ростовской обл. с использованием временных серий спутниковых данных Landsat 8/9. В основу разработанного алгоритма легла оригинальная система трехступенчатой фильтрации спектральной информации, позволяющая отсечь случайные факторы от признаков устойчивого почвенного стресса. Методика включает последовательный анализ трех параметров: расчет среднесезонных значений вегетационного индекса NDVI для оценки накопленной биомассы, определение стандартного отклонения NDVI для выявления участков с хронической стагнацией развития, а также оценку весенней влажности через индекс NDMI, отражающий неоднородность почвы до смыкания травостоя. Статистическая обработка и геопространственный анализ в среде QGIS позволили сегментировать исследуемый массив площадью 50,1 га на зоны с различной степенью стресса. Результаты исследования показали, что 81,8 % территории характеризуются стабильным состоянием, в то время как 10 % площади (5,0 га) находятся в зоне высокой деградационной опасности. Предложенный подход позволяет трансформировать традиционный мониторинг из трудоемкого сплошного обследования в формат прецизионного планирования. Это дает возможность агрономам и мелиораторам оптимизировать операционные затраты, фокусируя полевые изыскания и мелиоративные мероприятия исключительно на проблемных участках, что способствует сохранению почвенного плодородия в условиях меняющегося климата.

Ключевые слова. Remote sensing, irrigated agriculture, NDVI, Landsat imagery, agricultural landscape monitoring.

Цитирование. Калиниченко Р. В., Романовская А. Ю., Беденко А. Е. Выявление зон деградационной опасности орошаемого поля дистанционными методами // Научно-агрономический журнал. 2026; 2(133):55-61. DOI: 10.34736/FNC.2026.133.2.006.55-61.

Поступила в редакцию: 20.04.2026 Принята к печати: 18.05.2026

UDC 631 DOI: 10.34736/FNC.2026.133.2.006.55-61

Identification of degradation risk zones in an irrigated field using remote sensing methods

Kalinichenko R. V.[1], Romanovskaya A. Y.[1], Bedenko A. E.[2]✉
[1]Federal state budgetary scientific institution "Federal Research Center
"V. V. Dokuchaev Soil Science Institute", Moscow, Russia
[2]Federal state budgetary scientific institution "All-Russian Scientific Research Institute
for Irrigation and Farming Water Supply Systems "Raduga", Moscow Region, Russia

✉ – Для контактов/Corresponding author

Abstract. Intensive agriculture in arid and semi-arid regions of Southern Russia is closely linked to irrigation and land reclamation systems. However, while irrigation is a powerful tool for increasing yields, it also acts as a catalyst for specific degradation processes, such as secondary salinization, waterlogging, and loss of soil structure. This paper presents a novel methodology for identifying degradation risk zones in irrigated areas of the Rostov region using time-series satellite data from Landsat 8/9. The proposed algorithm is based on a three-stage spectral filtering system designed to distinguish random noise from indicators of sustained soil stress. The methodology involves sequential analysis of three parameters: mean seasonal NDVI values to assess biomass accumulation, NDVI standard deviation to identify areas of persistent growth stagnation, and springtime soil moisture estimated using NDMI, reflecting soil heterogeneity prior to canopy closure. Statistical processing and geospatial analysis using QGIS enabled segmentation of the 50.1-hectare study area into zones with varying levels of stress. The results show that 81.8 % of the area remains stable, while 10 % (5.0 ha) falls within a high degradation risk zone. The proposed approach enables a transition from labor-intensive continuous monitoring to precision planning. This allows agronomists and land reclamation specialists to optimize operational costs by focusing field surveys and reclamation measures on problem areas, thereby supporting soil fertility conservation under changing climate conditions.

Keywords. Remote sensing, irrigated agriculture, NDVI, Landsat imagery, agricultural landscape monitoring.

For citation. Kalinichenko R. V., Romanovskaya A. Y., Bedenko A. E. dentification of degradation risk zones in an irrigated field us-ing remote sensing methods // Scientific Agronomy Journal. 2026; 2(133):55-61. DOI: 10.34736/FNC.2026.133.2.006.55-61.

Received: 20.04.2026 Accepted: 18.05.2026

Введение. Глобальные изменения климата и нарастающая антропогенная нагрузка ставят вопросы сохранения плодородия почв в разряд приоритетных задач (Bostan, 2024). Особую остроту эта проблема приобретает в аридных и семиаридных регионах, где интенсивное земледелие неразрывно связано с мелиоративными системами (Stepanova, 2022). Орошение, выступая мощным инструментом получения качественного урожая, одновременно может провоцировать специфические деградационные процессы: вторичное засоление, подтопление и потерю структурности почвенного покрова (Liu et al., 2021). Юг России, и в частности, Ростовская обл., представляет собой зону рискованного земледелия, где эффективность использования мелиорируемых земель напрямую зависит от состояния почв (Поляков, 2024; Полынев и др., 2025).

Сплошные полевые обследования сегодня трудозатратны, а их низкая оперативность не позволяет вовремя реагировать на изменения состояния почв (Abdulraheem et al., 2023). В этой связи использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) становится ключевым инструментом для точного (прецизионного) управления агроландшафтами (Altherwy et al., 2024). Мультиспектральные данные позволяют выявлять скрытые очаги деградации, которые могут проявляться через угнетенную растительность (Kumar et al., 2022). Если говорить более подробно, то количественно оценить масштабы проблемы мы можем через индексы вегетации и влажности, такие как NDVI и NDMI (Ghazaryan et al., 2020).

Исследователи подчеркивают, что использование одиночных снимков часто дает неполную картину, что по сути логично – нельзя проводить анализ на основе одного элемента, который в свою очередь еще и подвержен искажению из-за случайных факторов (облачность, туман, тень от ближайших объектов) (Lungu et al., 2020). Поэтому анализ именно временных серий является единственно верным способом получения достоверных данных о почвенных условиях исследуемой местности (Wu et al., 2018). Оперативное распознавание участков устойчивого стресса позволит агрономам перейти к точечному рассмотрению проблемных зон, а также позволит принимать более качественные решения о внесении удобрений и мелиорантов.

Цель данной работы – разработать методику выявления зон деградационной опасности на орошаемых землях, используя временные серии спутниковых снимков Landsat 8/9.

Для этого мы сначала проследим за состоянием посевов сои в течение всего сезона вегетации, опираясь на индексы NDVI и NDMI, а затем выделим систему диагностических фильтров, которые помогут отличить случайные отклонения от зон устойчивого биологического стресса.

Итогом исследования станет разделение территории мелиорируемого массива на конкретные зоны по степени деградационной опасности.

Материалы и методы. Объектом исследования был выбран орошаемый массив площадью 50,1 га, расположенный в Багаевском р-не Ростовской обл. Почвенный покров здесь представлен темно-каштановыми среднесуглинистыми почвами. На участке выращивалась соя в 2025 г.

Соя чувствительна к почвенным условиям, поэтому повторяющиеся отклонения спектральных индексов будут указывать на проблемные очаги (Li et al., 2022). Полив осуществлялся системой кругового типа, что теоретически должно обеспечивать одинаковую влагообеспеченность по всей площади.

Было отобрано 15 безоблачных сцен со спутников Landsat 8 и 9. Мы взяли широкий временной отрезок – с середины апреля по конец сентября, чтобы полностью проследить жизненный цикл растений от первых ростков до созревания. Данные мы импортировали с платформы USGS EarthExplorer.

Всю аналитическую обработку мы проводили в среде QGIS 3.28. Сначала значения спектральной яркости были пересчитаны в коэффициенты отражения по стандартным формулам из метаданных. Затем мы рассчитали два ключевых индекса: NDVI для оценки состояния биомассы и NDMI для анализа влажности (Vidican et al., 2023).

Для установления зон деградационной опасности мы разработали методику 3-х фильтров. Сначала рассчитали среднесезонный NDVI, и если его значение опускалось ниже 0,5, мы классифицировали эту площадь как «участок устойчивого угнетения растений». Далее проанализировали вариабельность NDVI, низкое стандартное отклонение (меньше 0,20) указывает на своеобразную «застывшую» вегетацию – растения пребывают в хроническом стрессе и не раскрывают свой потенциал. Наконец, мы использовали индекс влажности NDMI, рассчитанный до 15 мая, пока поле не покрыто густой зеленью. В этот период индекс отлично выявляет неравномерность почвы, позволяя обнаружить песчаные линзы или начальное засорение.

Итоговую карту зон деградационной опасности мы получили путем наложения всех трех информационных слоев. Участки, где совпали все негативные признаки, мы отнесли к зоне высокой деградационной опасности. А участки, где совпали только два критерия из трех – мы отнесли к зоне средней деградационной опасности. Площади этих зон рассчитывались с помощью инструментов зональной статистики прямо в QGIS.

Результаты. Анализ пространственного распределения среднесезонных значений NDVI выявил относительную стабильность состояния посевов сои на основной площади поля. Однако в южной части массива зафиксированы статистически значимые очаги снижения фотосинтетической активности (рис. 1).

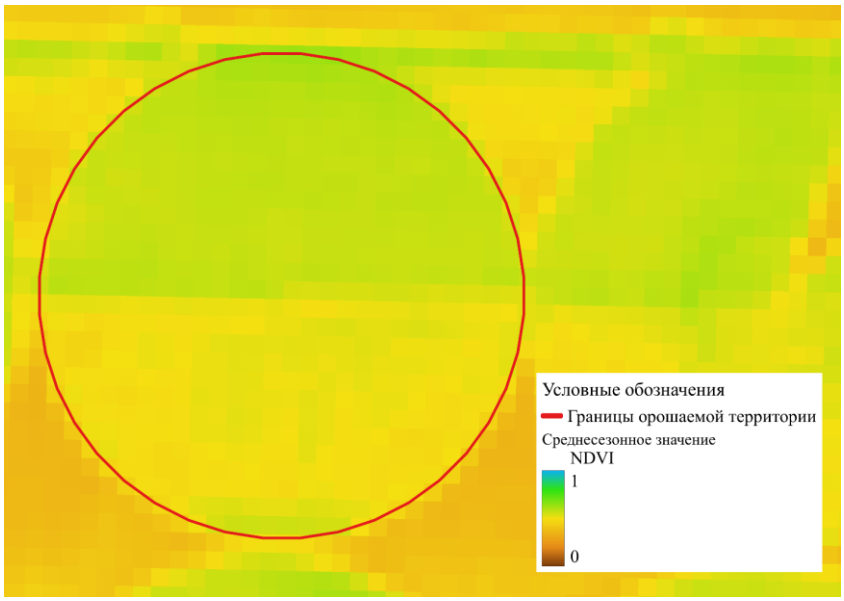

Рис. 1. Карта среднесезонных значений NDVI

Оценка сезонной изменчивости индекса показала, что участки с низким стандартным отклонением (StdDev NDVI < 0,20) практически полностью совпадают с зонами низкой продуктивности (рис. 2).

Растительность в этих локациях характеризуется отклонениями в развитии и пониженным накоплением биомассы на протяжении всего вегетационного периода.

Весенний индекс NDMI показывает явный недостаток влаги в южной части поля (рис. 3).

На основе комплексной фильтрации данных по трем критериям была проведена сегментация территории по зонам деградационной опасности (табл. 1, рис. 4,).

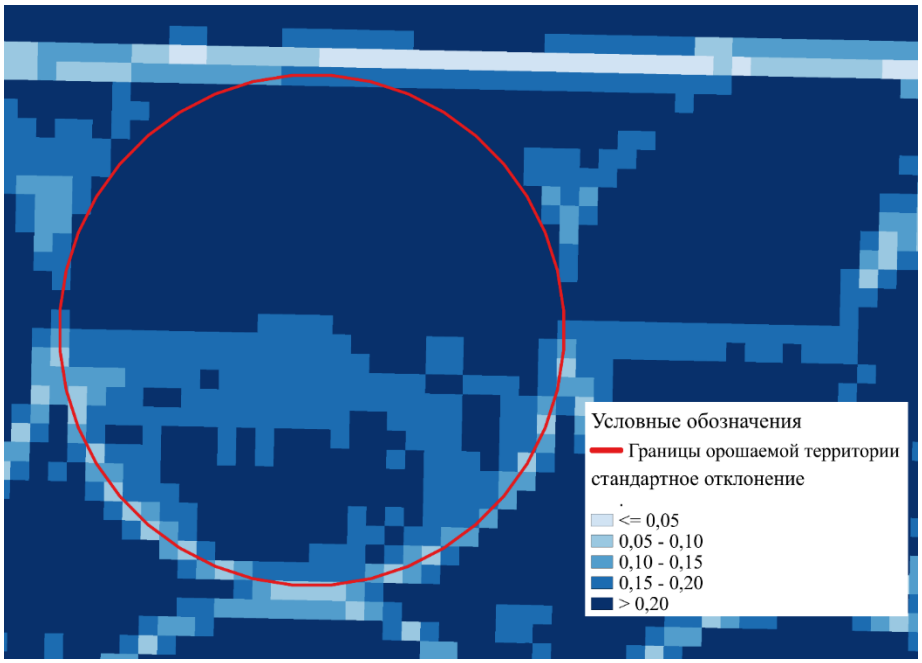

Рис. 2. Сезонная изменчивость NDVI

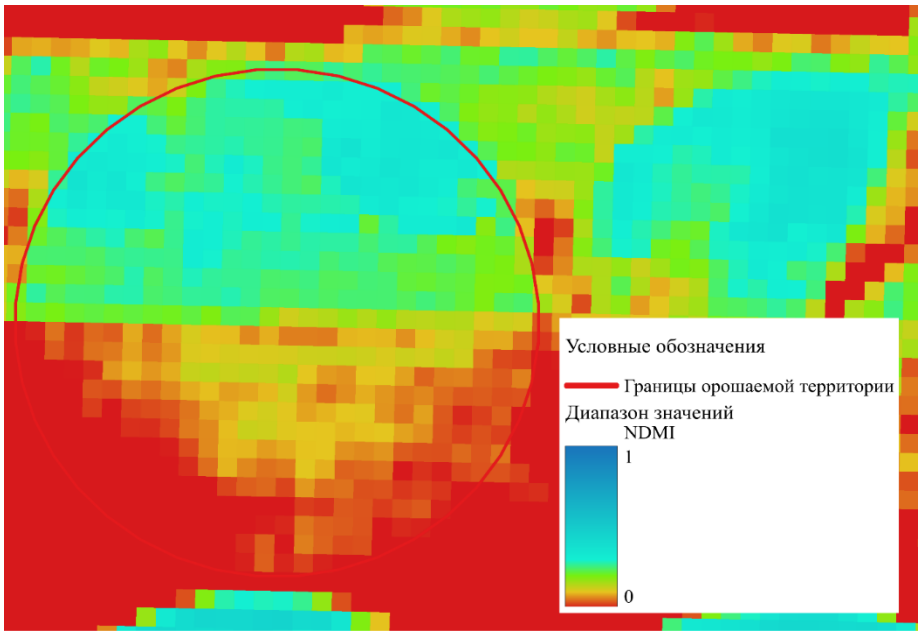

Рис. 3. Индекс NDMI 3 мая

Таблица 1

Распределение площади по деградационной опасности

Зона деградационной опасности	Площадь, га	Доля от общей площади, %
Низкая	41,0	81,8
Средняя	4,1	8,2
Высокая	5,0	10,0

Зоны высокой деградационной опасности (10 % площади) формируют плотные кластеры в юго-западном и юго-восточном секторах поля. Анализ сезонной динамики NDVI (рис. 5) подтверждает выраженную дифференциацию: в то время как основная часть массива показывает максимум продуктивности, проблемные участки сохраняют довольно низкую фотосинтетическую активность в течение всего цикла.

Обсуждение. Стабильность показателей NDVI на большей части поля подтверждает эффективность используемой системы кругового орошения в поддержании оптимального водного режима. Однако выявленная стагнация вегетационного индекса в южной части массива свидетельствует о наличии неблагоприятных факторов. Хронический характер стресса, который не ни-

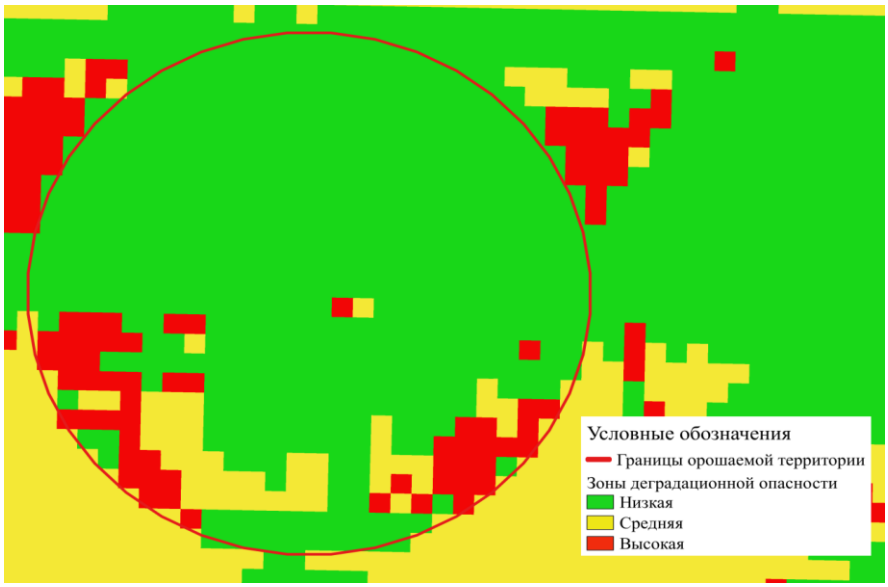

Рис. 4. Карта зон деградационной опасности

велируется регулярным поливом, указывает на связь между состоянием посевов и почвенными условиями (Dash et al., 2023).

Важным фактором угнетения растительности выступает геоморфологический. Наличие мезо- и микропонижений рельефа в южной части поля создает условия для локального перераспределения поверхностного стока и аккумуляции влаги. В условиях орошения это провоцирует подъем уровня грунтовых вод с последующим вторичным засолением (Mansouri et al., 2021). Накопление солей в корнеобитаемом слое снижает осмотический потенциал, что физиологически блокирует поглощение влаги растениями даже при ее наличии в почве (Singh et al., 2021).

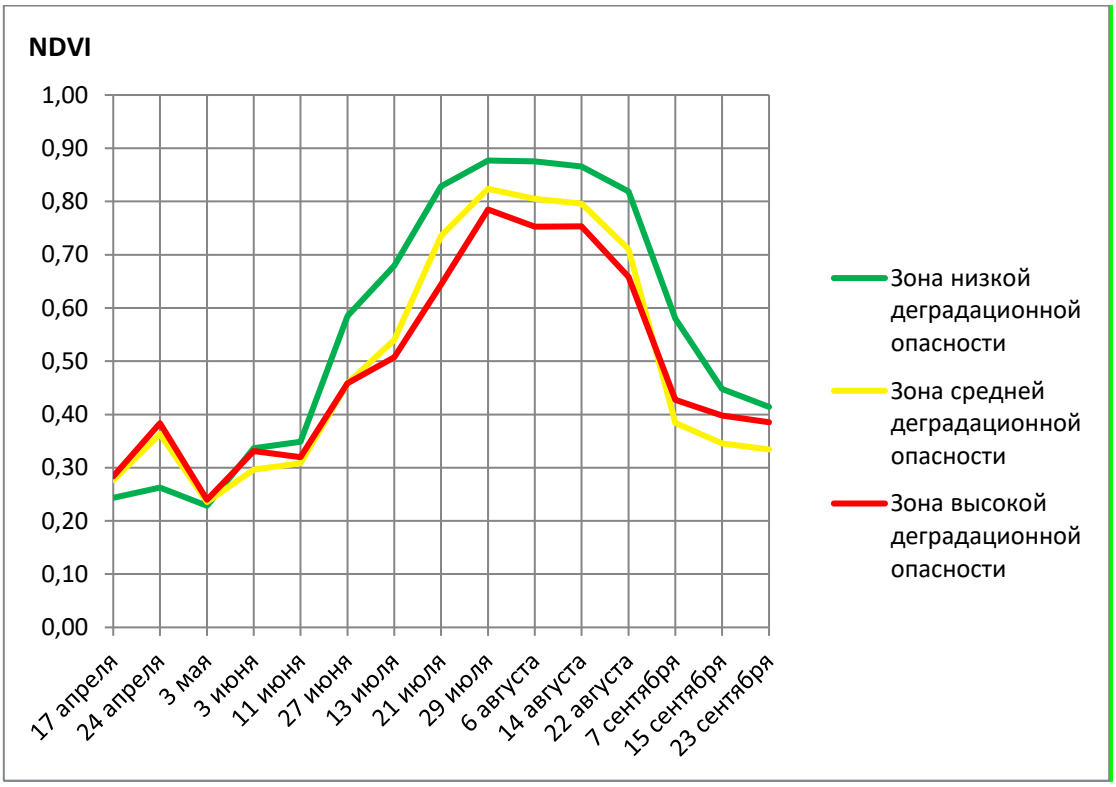

Рис. 5. Динамика NDVI для разных зон риска

Параллельно с процессами засоления существенную роль играет разность почвенного покрова. Наличие «песчаных линз» и зон повышенной фильтрации ведет к формированию участков с предельно низкой влагоудерживающей способностью (Vandenbohede et al., 2014). Данная гипотеза подтверждается выявленными низкими значениями весеннего индекса NDMI в зонах пониженного среднесезонного NDVI. Скорость инфильтрации в этих зонах повышена, что вызывает регулярный водный стресс (Koohikeradeh et al., 2025).

Установленные зоны деградационной опасности совпадают с местами маневрирования сельскохозяйственной техники, что свидетельствует о переуплотнении почв. В свою очередь это лимитирует газообмен и физически препятствует нормальному развитию корневой системы (Zhang et al., 2024). В таких условиях эффективность поглощения элементов минерального питания падает вне зависимости от вносимых доз удобрений, что и отражается на итоговых значениях NDVI (Arvidsson, 1998).

Заключение. Исследование подтвердило, что временные серии спутниковых данных эффективно диагностируют состояние орошаемых земель. Через спектральные характеристики посевов сои удалось выявить скрытую неоднородность почвенного покрова. Чтобы отделить случайные факторы от зон устойчивого стресса, мы разработали методику трехступенчатой фильтрации. Она учитывает среднесезонную продуктивность, стабильность вегетации и запасы влаги в почве весной. Такой подход позволил отсечь случайные отклонения в развитии растений от проблем с почвенными условиями.

На исследуемом массиве мы обнаружили четкую дифференциацию территории. Порядка 82 % площади характеризуются стабильным состоянием. При этом 10 % (5,0 га) участка, находятся в зоне высокой деградационной опасности, а 8,2 % (4,1 га) в зоне средней деградационной опасности. С практической точки зрения предложенный метод оптимизирует мониторинг мелиорируемых площадей. Вместо трудоемкого и дорогого сплошного обследования агроном получает точные координаты проблемных зон. Это позволяет проводить точечные полевые выезды, экономить ресурсы и в итоге своевременно принимать меры по защите почв.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Поляков В. В. К вопросу о разработке стратегии повышения эффективности использования природных ресурсов в агросфере Ростовской области. *Экономика и экология территориальных образований*. 2024;8(1): 6-12. [Polyakov V. V. On the issue of developing a strategy for increasing the efficiency of natural resources use in the agrosphere of the Rostov region. Economy and ecology of territorial formations. 2024;8(1): 6-12].

Полынев А. О., Угрюмова А. А., Гришина И. В. Сравнительная оценка эффективности мелиорируемого земледелия в регионах России. *Международный сельскохозяйственный журнал.* 2025;6(408): 753-757. [Polyneva A. O., Ugryumova A. A., Grishina I. V. Comparative assessment of the effectiveness of reclaimed agriculture in the regions of Russia. International Agricultural Journal. 2025;6(408): 753-757].

Abdulraheem M. I., Zhang W., Li Sh., [et al.] Advancement of Remote Sensing for Soil Measurements and Applications: A Comprehensive Review. *Sustainability.* 2023;15(21): 15444.

Altherwy Y. N., Roman A., Naqvi S. R. [et al.] Remote Sensing Insights: Leveraging Advanced Machine Learning Models and Optimization for Enhanced Accuracy in Precision Agriculture. *IEEE Access.* 2024;12: 132290-132302.

Arvidsson J. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments. *Soil & Tillage Research.* 1998;49(1-2): 159-170.

Bostan I. Major External Public Audit Topics: Combating the Effects of Climate Change on Soil. *European Journal of Law and Public Administration.* 2024;11(2): 169-185.

Dash P., Sanders S. L., Parajuli P., Ouyang Y. Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data in an Agricultural Watershed. *Remote Sensing.* 2023;15(16): 4020.

Ghazaryan G., Dubovyk O., Graw V., [et al.] Local-scale agricultural drought monitoring with satellite-based multi-sensor time-series. *GIScience and Remote Sensing.* 2020;57(5): 704-718.

Koohikeradeh E., Jose Gumiere S., Bonakdari H. NDMI-Derived Field-Scale Soil Moisture Prediction Using ERA5 and LSTM for Precision Agriculture. *Sustainability.* 2025;17(6): 2399.

Kumar B. P., Babu K. R., Anusha B. N., Rajasekhar M. Geo-environmental monitoring and assessment of land degradation and desertification in the semi-arid regions using Landsat 8 OLI / TIRS, LST, and NDVI approach. *Environmental Challenges.* 2022;8: 100578.

Li X., Wang J., Lin X., Chen Zh. Effect of Irrigation and Fertilization on Soybean Growth and Yield in Different Soil Types. *Molecular Soil Biology.* 2024;15(0022).

Liu Ch., Cui B., Zeleke K. T. [et al.] Risk of Secondary Soil Salinization under Mixed Irrigation Using Brackish Water and Reclaimed Water. *Agronomy.* 2021;11(10): 2039.

Lungu O. N., Chabala L. M., Shepande Ch. Satellite-Based Crop Monitoring and Yield Estimation-A Review. *Journal of Agricultural Science.* 2020;13(1): 180.

Mansouri M., Javadi S. A., Jafari M., Arzani H. Effect of microrelief and water-table on vegetation dynamics in silty loam saline soils of coastal areas. *SN Applied Sciences.* 2021;3(3).

Singh M., Nara U., Thapa S., [et al.] Salinity tolerance mechanisms and their breeding implications. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology.* 2021;19(1).

Stepanova S. I., Stepanova D. I. Prospects for research in the field of environmental management and melioration. *Moscow Economic Journal.* 2022;7(9).

Vandenbohede A., Mollema P. N., Greggio N., Antonellini M. Seasonal dynamic of a shallow freshwater lens due to irrigation in the coastal plain of Ravenna, Italy. *Hydrogeology Journal.* 2014;22(4): 893-909.

Vidican R., Mălinaș A., Ranta O. [et al.] Using Remote Sensing Vegetation Indices for the Discrimination and Monitoring of Agricultural Crops: A Critical Review. *Agronomy.* 2023;13(12): 3040.

Wu M., Yang Ch., Song X., [et al.] Monitoring cotton root rot by synthetic Sentinel-2 NDVI time series using improved spatial and temporal data fusion. *Scientific Reports.* 2018;8(1): 1-12.

Zhang B., Jia Ya., Fan H., [et al.] Soil compaction due to agricultural machinery impact: A systematic review. *Land Degradation and Development.* 2024.

Информация об авторах

Калиниченко Роман Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Отдела физики, гидрологии и эрозии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», 119017, Пыжевский пер., 7с2, Москва, Россия, kalinichenko_rv@esoil.ru, ORCID: 0000-0003-3136-8468.

Романовская Анна Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник Отдела генезиса, географии, классификации и цифровой картографии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», 119017, Пыжевский пер., 7с2, Москва, Россия, burmistrovaann13@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9434-3095.

Беденко Алексей Евгеньевич, младший научный сотрудник отдела геоинформационных технологий и мониторинга мелиоративных систем, ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 140483, Московская обл., Коломенский городской округ, поселок Радужный, д. 38, timbothdoom@gmail.com, ORCID: 0009-0005-7522-0395.

Information about the authors

Kalinichenko Roman Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Department of Soil Physics, Hydrology and Erosion, V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 7, bldg. 2, Pyzhevsky Lane, 119017, Moscow, Russia, kalinichenko_rv@esoil.ru, ORCID: 0000-0003-3136-8468.

Romanovskaya Anna Yurievna, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Department of Soil Genesis, Geography, Classification and Digital Mapping, V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 7, bldg. 2, Pyzhevsky Lane, 119017, Moscow, Russia, burmistrovaann13@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9434-3095.

Bedenko Alexey Evgenievich, Junior Researcher, Department of Geoinformation Technologies and Monitoring of Reclamation Systems, Federal state budgetary scientific institution "All-Russian Scientific Research Institute for Irrigation and Farming Water Supply Systems "Raduga", Raduzhny settlement, Kolomna City District, Moscow Region, timbothdoom@gmail.com, ORCID: 0009-0005-7522-0395.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.