

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ/LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.10>

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПОЧВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ РФ

Научная статья

Ефимова Г.А.¹, Мкртчян Л.А.^{2,*}

²ORCID : 0000-0002-7487-3600;

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (lauramkrt97[at]mail.ru)

Аннотация

Оценка почвенного потенциала является важным этапом в оптимизации землепользования и повышении эффективности сельскохозяйственного производства. Современные подходы в почвоведении предусматривают комплексное рассмотрение почвенных характеристик, агроклиматических условий и геоморфологических факторов, что позволяет оценить продуктивность и устойчивость земельных ресурсов. Целью данной статьи является описание материалов и методов, использованных для создания алгоритма оценки почвенного потенциала залежных земель, основанного на интеграции георесурсной базы данных и агроклиматических показателей с применением данных дистанционного зондирования.

В целом, статья представляет собой ценный научный вклад в область применения современных технологий дистанционного зондирования для улучшения системы регулирования земельных отношений, что может быть полезно для специалистов в области геоинформатики, геодезии, экологии и управления земельными ресурсами.

Ключевые слова: земельные отношения, данные дистанционного зондирования земли, управление земельными ресурсами, залежные земли, почвенный потенциал.

ALGORITHM FOR ASSESSING SOIL POTENTIAL OF FALLOW LANDS OF RUSSIA

Research article

Yefimova G.A.¹, Mkrtchyan L.A.^{2,*}

²ORCID : 0000-0002-7487-3600;

^{1,2} Saint Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (lauramkrt97[at]mail.ru)

Abstract

Evaluation of soil potential is an important step in optimising land use and increasing the efficiency of agricultural production. Modern approaches in soil science provide for an integrated review of soil characteristics, agroclimatic conditions and geomorphological factors, which makes it possible to assess the productivity and sustainability of land resources. The aim of this article is to describe the materials and methods used to create an algorithm for assessment of soil potential of fallow lands based on the integration of georesource database and agroclimatic indicators using remote sensing data.

In general, the article is a valuable scientific contribution to the field of application of modern remote sensing technologies to improve the system of land relations regulation, which can be useful for specialists in the field of geoinformatics, geodesy, ecology and land management.

Keywords: land relations, remote sensing data, land resources management, fallow lands, soil potential.

Введение

Для обеспечения продовольственной безопасности и стабильного снабжения населения продуктами питания, необходимо грамотное регулирование земельных взаимоотношений в аграрном секторе. Это создаст благоприятные условия для привлечения инвестиций и внедрения инноваций. Учитывая огромный сельскохозяйственный потенциал России, плодородные угодья привлекают пристальное внимание различных участников рынка – от инвесторов до фермеров. Такой интерес вполне объясним, ведь агропромышленный комплекс является одним из ключевых для российской экономики [1].

Залежные земли представляют собой земли, находящиеся в состоянии длительного неиспользования или заброшенности, что часто сопровождается ухудшением их физико-химических свойств и снижением плодородия. Оценка почвенного потенциала таких земель имеет важное значение для разработки мероприятий по их рекультивации и оптимальному использованию [2].

Согласно данным Росстата, в 2024 году площадь посевов сельскохозяйственных культур в России сократилась на 1,2% по сравнению с 2023 годом, составив 80,185 млн га, что на 968 тыс. га меньше, чем в 2023 году [3].

Кроме того, ежегодно в России деградирует 1,5–2 млн га земель, что приводит к потерям до 3,9 млн тонн сельхозпродукции в зерновом эквиваленте [4].

Современные технологии дистанционного зондирования (ДЗЗ) предоставляют возможность оперативно получать данные о спектральных характеристиках земной поверхности, отражающих состояние почв. Использование данных дистанционного зондирования для создания алгоритма оценки почвенного потенциала позволяет оценить залежные земли по таким параметрам, как почвенная линия, отражательная способность в видимом, ближнем инфракрасном

(NIR) и среднеинфракрасном (MIR) диапазонах, а также показатели, связанные с влажностью, содержанием органического вещества и минералогическим составом почвы [5], [6].

Возможности введения неиспользуемых сельскохозяйственных земель в оборот, могут осуществиться только при благоприятных условиях использования этих земель. Авторами различных исследований отмечается, что на данный момент создан фундаментальный комплекс методов и технологий, позволяющий проводить масштабные научные изыскания в области дистанционного зондирования Земли. Эти исследования имеют первостепенное значение для внедрения инновационных агротехнических решений, включая точное земледелие и мелиорацию [7].

Однако необходимо на государственном уровне усилить освоение пустующих сельскохозяйственных угодий, а также искать новые источники финансирования проектов для привлечения частного капитала. Иначе, при дефиците физического капитала в аграрном секторе, дополнительный спрос на сельскохозяйственную продукцию останется неудовлетворенным, что может привести к неэффективности производства сельскохозяйственной продукции.

Методы и принципы исследования

Основными источниками данных для разработки алгоритма стали спутниковые изображения, полученные с систем Landsat и Sentinel-2, а также данные, полученные при мультиспектральной съемке с беспилотного воздушного судна. Эти данные предоставляют мультиспектральные снимки с разрешением, достаточным для выделения участков залежных земель. Изображения проходят предварительную обработку с использованием стандартных методов радиометрической и геометрической коррекции, что обеспечивает сопоставимость значений отражения в различных спектральных диапазонах [8].

Для оценки характеристик почвы используются спектральные данные в следующих диапазонах:

1. Видимый (400–700 нм).
2. Ближний инфракрасный (700–1100 нм).
3. Среднеинфракрасный (1100–2500 нм) [9].

Из этих данных вычисляются ключевые спектральные индексы, позволяющие выделить оголенную почву от растительного покрова, например, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и WdVI (Weighted Difference Vegetation Index). При отсутствии растительности значения NDVI приближаются к нулевым, что позволяет использовать так называемую «почвенную линию» для оценки свойств поверхности почвы [10], [11].

В долгосрочной перспективе оценка почв способствует поддержке устойчивого развития, так как она обеспечивает сохранение биологического разнообразия, предотвращение загрязнения и деградации земель, а также содействие в адаптации к изменению климата. Особенно это важно в контексте снижения рисков наводнений, засух и других экстремальных погодных явлений, которые могут быть уменьшены за счет правильного управления водными и почвенными ресурсами.

Основные результаты

Разработка алгоритмов оценки потенциала почв позволяет рационально распределять ресурсы – от систем полива до внесения удобрений. Это дает возможность достигать максимальных показателей урожайности при оптимальных затратах.

Особую ценность представляет экологический аспект: точное понимание характеристик почвы способствует внедрению природосберегающих технологий земледелия. Благодаря этому удастся не только поддерживать плодородие сельскохозяйственных угодий, но и предотвращать деградацию почвенного покрова, обеспечивая долгосрочную продуктивность земель [12].

Алгоритм определения потенциала почв указан на рисунке 1.

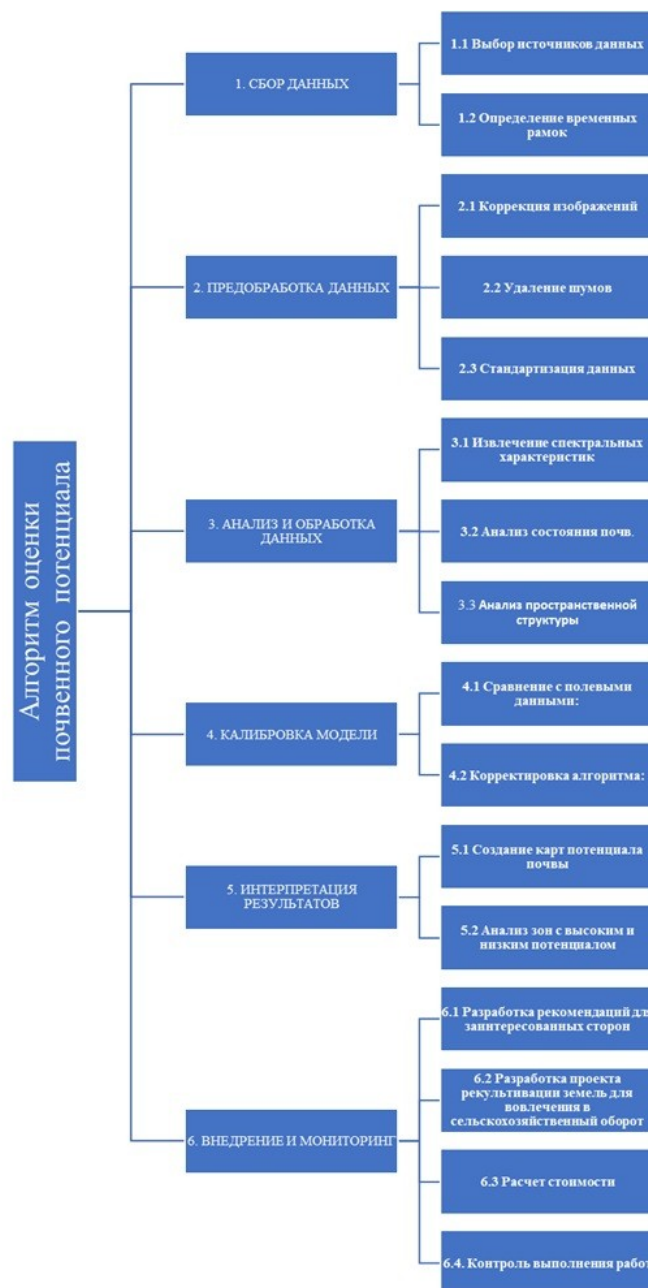


Рисунок 1 - Алгоритм определения потенциала почв
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.10.1>

Сбор данных подразумевает выбор источников данных как архивных, так и актуальных, получаемых полевым и камеральным путем.

Определение временных рамок предполагает сбор данных за разные сезоны для учета сезонных изменений, таких как изменения в содержании влаги, температуре, росте растений и других факторах, которые могут влиять на потенциал почвы в разные периоды года.

Вторым этапом проведения оценки потенциала почв является предобработка данных, направленная на коррекцию исходных данных и приведению материалов, полученных в результате полевых работ к формату, позволяющему провести анализ.

В рамках процедуры анализа почвенного потенциала особое внимание уделяется модификации полученных снимков согласно пункту 2.1. Этот процесс включает несколько ключевых этапов обработки данных.

Важным компонентом является фильтрация нежелательных элементов съемки. Применяются специальные фильтры для очистки изображений от помех и случайно захваченных фрагментов, которые могли попасть в кадр во время проведения исследований. Это необходимо для предотвращения искажения результатов анализа.

Существенную роль играет нормализация геометрических параметров. Этот процесс направлен на устранение деформаций, возникающих из-за особенностей ландшафта и технических аспектов фотосъемки, что обеспечивает высокую степень достоверности получаемых данных.

Не менее значимым этапом выступает компенсация атмосферных воздействий. Данная процедура минимизирует влияние погодных условий на качество снимков, что существенно повышает точность итоговых результатов исследования.

Анализ и обработка информации является ключевой стадией в исследовании почвенного потенциала. В ходе этого процесса выявляются различные характеристики, как качественные, так и количественные, которые впоследствии становятся фундаментом для создания программы рекультивационных работ [13]. Для эффективного анализа крайне важно предварительно привести все имеющиеся данные к унифицированному виду. Это достигается путем стандартизации информации – приведения её к единому формату, разрешению и структуре, что существенно облегчает последующие операции по обработке, хранению и исследованию материала.

Раздел 3.1 описывает методы анализа почвенных и растительных характеристик с использованием дистанционного зондирования. Ключевым элементом является обработка данных, полученных со спутников, для извлечения спектральных показателей поверхности. Важную роль в оценке состояния экосистемы играют различные индикаторы, среди которых особое место занимает нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI). Этот и подобные показатели позволяют провести комплексную оценку здоровья растительного покрова, что, в свою очередь, дает возможность сделать выводы о характеристиках и потенциале почв на исследуемой территории. Анализ отражательных свойств поверхности и растительности предоставляет ценную информацию для дальнейших исследований и мониторинга состояния земель.

Оценка потенциала почвы требует комплексного подхода к изучению множества показателей. Ключевыми индикаторами являются влажность, степень эрозии водой, уровень кислотности, наличие лесного покрова и загрязнений. Важнейшим фактором плодородности выступает количество гумуса в грунте [14]. Создание почвенной модели дает возможность произвести всестороннюю оценку пригодности земель для разных целей использования. Важно понимать, что без проведения лабораторных исследований химического состава многие характеристики почвы можно определить только на основе вторичных признаков.

Геостатистические методы позволяют исследовать распределение почвенных характеристик в пространстве, выявляя связи между разными территориями и способствуя рациональному распределению ресурсов. Чтобы определить пригодность земель для различных видов деятельности (агрокультура, лесоводство и другие направления), проводится специальная оценка. Она основывается на создании математических моделей и анализе конкретных показателей состояния грунта, что в итоге формирует представление о почвенном потенциале исследуемой территории. Такой комплексный подход к изучению пространственной структуры почв обеспечивает глубокое понимание их свойств и возможностей практического применения.

Чтобы подтвердить точность разработанной модели оценки почвенного потенциала территорий, требуется проведение калибровочных мероприятий. Верификация результатов включает сопоставление расчетных показателей с натурными измерениями. Важнейшим элементом проверки выступает лабораторное исследование проб почвы, отобранных на изучаемых участках. Завершающая стадия алгоритмической обработки формирует информационный массив и математический аппарат для вычисления потенциала грунтов.

Эффективность алгоритмических расчетов можно подтвердить только через лабораторные исследования образцов почвы. Ключевым этапом проверки является сбор проб на исследуемой территории с их последующим тщательным анализом в специализированной лаборатории. Это позволяет получить базовые показатели для сравнения. Точность компьютерной модели оценки почвенных свойств определяется путем сопоставления расчетных данных с измерениями, полученными в ходе практических испытаний. Только такой подход дает возможность достоверно оценить, насколько корректно работает автоматизированная система анализа почвенного потенциала.

Визуальное представление почвенного потенциала в форме картографических материалов является ключевым элементом интерпретационного этапа. После внесения необходимых коррективов в модель становится возможным создание наглядных карт. Эффективность и достоверность используемой методики можно оценить путем анализа взаимосвязи между прогнозируемыми и реальными характеристиками грунта. Для повышения точности результатов может потребоваться модификация алгоритма, включающая как оптимизацию существующих параметров, так и внедрение новых факторов в расчетную модель.

Рациональное распределение земельных ресурсов становится возможным благодаря тщательному анализу сельскохозяйственного потенциала территорий. Интерпретация результатов и понимание структуры почвенного покрова существенно упрощаются за счет наглядного представления информации. При планировании агротехнических мероприятий особую ценность представляет возможность выделения участков с различными уровнями потенциала почвы. Детальное изучение зон высокой и низкой продуктивности позволяет принимать обоснованные решения по размещению сельскохозяйственных культур и организации земледелия. Картографическое отображение почвенного потенциала служит эффективным инструментом для оптимизации использования сельскохозяйственных угодий.

Для принятия стратегических решений в сфере АПК ключевое значение имеет анализ и картографирование почвенных ресурсов. Рациональное распределение сельскохозяйственных угодий основывается на их природных характеристиках. Земли с высоким плодородием рекомендуется использовать для выращивания требовательных к почве культур и применения интенсивных методов земледелия. При этом менее плодородные участки находят свое применение в качестве пастбищных территорий, для лесоразведения или экстенсивного хозяйства. Такой дифференцированный подход к землепользованию позволяет достичь максимальной эффективности в использовании природных ресурсов и существенно повысить производительность аграрного сектора.

Для эффективного использования заброшенных сельхозугодий необходимо провести комплексный анализ состояния почв. На основе полученных данных формируются детальные рекомендации, адресованные как представителям власти разных уровней, так и аграрным предприятиям. Эти предложения содержат конкретные меры по оптимизации землепользования и повышению плодородия почв. Процесс завершается практическим применением разработанных мер и последующим контролем их эффективности. При этом особое внимание уделяется

взаимодействию с региональными, федеральными и муниципальными органами власти, а также с частными фермерами и сельскохозяйственными организациями.

Восстановление сельскохозяйственных земель требует тщательного финансового планирования и комплексного подхода к улучшению почвенных характеристик. Предварительная смета включает расчёт всех необходимых издержек: от закупки материалов и оборудования до оплаты рабочей силы.

Для возвращения участка в сельскохозяйственный оборот разрабатывается детальный план мероприятий по восстановлению плодородия почвы. В комплекс работ входят различные агротехнические операции, среди которых особое внимание уделяется мелиоративным мероприятиям, внесению питательных веществ и механической обработке грунта. Все эти действия направлены на достижение оптимальных показателей плодородия земли для её дальнейшего эффективного использования в аграрном секторе.

Мониторинг и надзор за реализацией проекта играют ключевую роль в достижении поставленных целей. Успешное восстановление земель требует постоянного отслеживания хода выполняемых мероприятий и их соответствия изначально утверждённой документации. Тщательная проверка качества и регулярная оценка достигнутых результатов позволяют своевременно корректировать процесс и гарантировать эффективность рекультивационных работ на всех этапах их осуществления.

Благодаря такому подходу удастся не только рационально распоряжаться земельными угодьями, но и существенно поднять продуктивность аграрного сектора.

Заключение

Представленный алгоритм оценки почвенного потенциала залежных земель, основанный исключительно на данных дистанционного зондирования, включает в себя этапы предварительной обработки спутниковых изображений, выделения оголённой почвы, расчёта спектральных индексов и интеграции полученной информации посредством информационно-логического анализа. Полученные интегральные показатели позволяют классифицировать залежные земли по потенциалу их рекультивации и оптимального использования. Высокая корреляция между спектральными характеристиками и агроклиматическими параметрами демонстрирует перспективность применения данного алгоритма для систем мониторинга и управления земельными ресурсами.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года : Распоряжение Правительства РФ от 8 сентября 2022 г. № 2567-р. — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405172287/> (дата обращения: 10.02.2025).
2. Нечаева Т.В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) / Т.В. Нечаева // Почвы и окружающая среда. — 2023. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zaleznyye-zemli-rossii-rasprostranenie-agroekologicheskoe-sostoyanie-i-perspektivy-ispolzovaniya-obzor> (дата обращения: 10.02.2025).
3. Сокращение посевных площадей // МГУ имени М.В. Ломоносова, Аграрный центр МГУ. — URL: <https://ecfs.msu.ru/news/sokrashhenie-posevnyix-ploshhadej> (дата обращения: 10.02.2025).
4. Багдасарян А. Деградация на миллиарды: в России истощены свыше 60% сельхозугодий / А. Багдасарян // Агроинвестор. — 2015. — № 11. — URL: <https://www.agroinvestor.ru/investments/article/22502-zatratnaya-inflyatsiy> (дата обращения: 10.02.2025).
5. Савельев А.А. Оценка почвенного плодородия по данным дистанционного зондирования земли / А.А. Савельев, Б.Р. Григорьян, Д.В. Добрынин [и др.] // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. — 2012. — № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pochvennogo-plodorodiya-po-dannym-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli> (дата обращения: 10.02.2025).
6. Аэрокосмические методы в почвоведении / под ред. Л.Л. Шишова, В.Л. Андроникова. — М. : Колос, 1989. — 128 с.
7. Якушев В.П. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования Земли для сельского хозяйства / В.П. Якушев, Н.Н. Дубенок, Е.А. Лупян // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2019. — Т. 16, № 3. — С. 11–23.
8. Шаповалов Д.А. Методы использования мультиспектральных снимков при экологическом мониторинге мелиорированных земель / Д.А. Шаповалов, Л.А. Ведешин, Л.Г. Евстратова [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2023. — Т. 20, № 4. — С. 187–201.
9. Шилин Б.В. Спектральные характеристики растений на ранних стадиях воздействия ионизирующих излучений / Б.В. Шилин, А.А. Тронин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2020. — Т. 17, № 4. — С. 285–289.

10. Kaufman Y.J. Detection of forests using mid-IR reflectance: an application for aerosol studies / Y.J. Kaufman, L.A. Remer // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 1994. — Vol. 32. — P. 672–683.
11. Украинский П.А. Определение параметров почвенной линии для автоматизированного распознавания открытой поверхности почвы на космических снимках / П.А. Украинский, А.В. Землякова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — № 9-1. — С. 140–144.
12. Ларионов Ю.С. Экологическое значение биоземледелия и закона плодородия почв / Ю.С. Ларионов, О.А. Ларионова, Н.А. Ярославцев // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2017. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskoe-znachenie-biozemledeliya-i-zakona-plodorodiya-pochv> (дата обращения: 10.02.2025).
13. Кожевин П.А. Показатели почвенного "здоровья" в оценке почв (обзор) / П.А. Кожевин // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. — 2023. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pokazateli-pochvennogo-zdorovya-v-otsenke-pochv-obzor> (дата обращения: 10.02.2025).
14. Коновалов А.Г. Обзор подходов к оценке экологического состояния и нормированию качества почв / А.Г. Коновалов, Д.В. Рисник, А.П. Левич [и др.] // Биосфера. — 2017. — № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-podhodov-k-otsenke-ekologicheskogo-sostoyaniya-i-normirovaniyu-kachestva-pochv> (дата обращения: 10.02.2025).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Strategiya razvitiya agropromyshlennogo i rybokhozyaystvennogo kompleksov Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda [Strategy for the development of agricultural and fishery complexes of the Russian Federation for the period up to 2030] : approved by the order of the Government of the Russian Federation dated September 8, 2022 No. 2567-r. — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405172287/> (accessed: 10.02.2025). [in Russian]
2. Nehaeva T.V. Zaleznye zemli Rossii: rasprostranenie, agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispolzovaniya (obzor) [Fallow lands of Russia: distribution, agroecological state and prospects of use (review)] / T.V. Nehaeva // Pochvy i okruzhayushchaya sreda [Soils and Environment]. — 2023. — Iss. 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zaleznye-zemli-rossii-rasprostranenie-agroekologicheskoe-sostoyanie-i-perspektivy-ispolzovaniya-obzor> (accessed: 10.02.2025). [in Russian]
3. Sokrashchenie posevnykh ploshchadey [Reduction of sown areas] // MGU imeni M.V. Lomonosova, Agrarnyy tsentr MGU [Lomonosov Moscow State University, Agricultural Center of Moscow State University]. — URL: <https://ecfs.msu.ru/news/sokrashchenie-posevnykh-ploshchadey> (accessed: 10.02.2025). [in Russian]
4. Bagdasaryan A. Degradatsiya na milliardy: v Rossii istoshcheny svyshe 60% selkhozugodiy [Degradation worth billions: over 60% of agricultural land in Russia is depleted] / A. Bagdasaryan // Agroinvestor. — 2015. — Iss. 11. — URL: <https://www.agroinvestor.ru/investments/article/22502-zatratnaya-inflyatsiy> (accessed: 10.02.2025). [in Russian]
5. Saveliev A.A. Otsenka pochvennogo plodorodiya po dannym distantsionnogo zondirovaniya zemli [Assessment of soil fertility based on remote sensing data] / A.A. Saveliev, B.R. Grigoryan, D.V. Dobrynin [et al.] // Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki [Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences]. — 2012. — Iss. 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pochvennogo-plodorodiya-po-dannym-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli> (accessed: 10.02.2025). [in Russian]
6. Aerokosmicheskie metody v pochvovedenii [Aerospace methods in soil science] / ed. by L.L. Shishov, V.L. Andronikov. — Moscow : Kolos, 1989. — 128 p. [in Russian]
7. Yakushev V.P. Opyt primeneniya i perspektivy razvitiya tekhnologiy distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya sel'skogo khozyaystva [Experience of application and development prospects of remote sensing technologies for agriculture] / V.P. Yakushev, N.N. Dubenok, E.A. Lupyan // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space]. — 2019. — Vol. 16, Iss. 3. — P. 11–23. [in Russian]
8. Shapovalov D.A. Metody ispolzovaniya multispektralnykh snimkov pri ekologicheskom monitoringe meliorirovannykh zemel [Methods of using multispectral images for environmental monitoring of reclaimed lands] / D.A. Shapovalov, L.A. Vedeshin, L.G. Evstratova [et al.] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space]. — 2023. — Vol. 20, Iss. 4. — P. 187–201. [in Russian]
9. Shilin B.V. Spektralnye kharakteristiki rasteniy na rannikh stadiyakh vozdeystviya ioniziruyushchikh izlucheniye [Spectral characteristics of plants at early stages of exposure to ionizing radiation] / B.V. Shilin, A.A. Tronin // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space]. — 2020. — Vol. 17, Iss. 4. — P. 285–289. [in Russian]
10. Kaufman Y.J. Detection of forests using mid-IR reflectance: an application for aerosol studies / Y.J. Kaufman, L.A. Remer // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 1994. — Vol. 32. — P. 672–683.
11. Ukrainskiy P.A. Opredelenie parametrov pochvennoy linii dlya avtomatizirovannogo raspoznavaniya otkrytoy poverkhnosti pochvy na kosmicheskikh snimkakh [Determination of soil line parameters for automated recognition of bare soil surface in satellite images] / P.A. Ukrainskiy, A.V. Zemlyakova // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research]. — 2014. — Iss. 9-1. — P. 140–144. [in Russian]
12. Larionov Yu.S. Ekologicheskoe znachenie biozemledeliya i zakona plodorodiya pochv [Ecological significance of organic farming and the law of soil fertility] / Yu.S. Larionov, O.A. Larionova, N.A. Yaroslavtsev // Interexpo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]. — 2017. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskoe-znachenie-biozemledeliya-i-zakona-plodorodiya-pochv> (accessed: 10.02.2025). [in Russian]
13. Kozhevin P.A. Pokazateli pochvennogo "zdorov'ya" v otsenke pochv (obzor) [Indicators of soil "health" in soil assessment (review)] / P.A. Kozhevin // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie [Bulletin of Moscow University. Series 17. Soil Science]. — 2023. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pokazateli-pochvennogo-zdorovya-v-otsenke-pochv-obzor> (accessed: 10.02.2025). [in Russian]

14. Konovalov A.G. Obzor podkhodov k otsenke ekologicheskogo sostoyaniya i normirovaniyu kachestva pochv [Review of approaches to assessing ecological status and soil quality regulation] / A.G. Konovalov, D.V. Risnik, A.P. Levich [et al.] // *Biosfera* [Biosphere]. — 2017. — № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-podhodov-k-otsenke-ekologicheskogo-sostoyaniya-i-normirovaniyu-kachestva-pochv> (accessed: 10.02.2025). [in Russian]