

МОНИТОРИНГ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Е.Д. Подрядчикова, Н.Г. Мартынова, И.Н. Кустышева,
И.В. Раева

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Аннотация. Цель исследования заключается в разработке методики анализа состояния и изменений растительного покрова на основе данных дистанционного зондирования Земли для планирования и реализации мероприятий по восстановлению земель. Для достижения цели был проведен анализ пространственно-временных изменений растительного покрова, разработаны подходы к идентификации зон, пригодных для восстановления лесов, и апробирована методика оценки состояния лесов. Исследование проводилось на территории участкового лесничества Тюменской области Тюменского района, общей площадью 12988,55 га, для визуализации и обработки данных использовалась геоинформационная система MapInfo Professional. Полученные результаты представлены в виде тематических карт, отражающих распределение растительности и изменения лесного покрова, включая зоны вырубки и восстановления. Установлено, что в период с 2020 по 2024 гг. площадь молодняков и кустарников увеличилась с 163,6 тыс. га до 468,4 тыс. га, что свидетельствует о естественной регенерации лесов. Выводы демонстрируют высокий природоохранный потенциал региона с доминирующим положением хвойных лесов, а низкая доля поврежденных земель указывает на устойчивость экосистем.

Ключевые слова: растительный покров, дистанционное зондирование Земли, мониторинг, устойчивое развитие, экосистема

Original article

VEGETATION COVER MONITORING BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA

E.D. Podryadchikova, N.G. Martynova, I.N. Kustysheva,
I.V. Raeva

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Abstract. The purpose of the study is to develop a methodology for analyzing the state and changes of vegetation cover based on remote sensing data for planning and implementing land restoration measures. To achieve this goal, an analysis of spatiotemporal changes in vegetation cover was carried out, approaches to identifying areas suitable for forest restoration were developed, and a methodology for assessing the state of forests was tested. The study was conducted on the territory of the Tyumen region district forestry of the Tyumen region, with a total area of 1,2988.55 ha. The geographic information system MapInfo Professional was used for visualization and data processing. The results are presented in the form of thematic maps reflecting the distribution of vegetation and changes in forest cover, including deforestation and restoration zones. It was found that in the period from 2020 to 2024, the area of young trees and shrubs increased from 163.6 thousand hectares to 468.4 thousand hectares, which naturally indicates the natural regeneration of forests. The findings demonstrate the high conservation potential of the region with the dominant position of coniferous forests, and the low proportion of damaged lands indicates the stability of ecosystems.

Keywords: vegetation, remote sensing of the Earth, monitoring, sustainable development, ecosystem

Введение. В системе управления земельными ресурсами агропромышленного комплекса лесные массивы играют важную роль в регулировании водного режима, предотвращении деградации почв, улучшении микроклиматических условий и обеспечении долгосрочной устойчивости сельскохозяйственных угодий. Лесной покров является неотъемлемой частью агроландшафтов, оказывая значительное влияние на их продуктивность, экологическую устойчивость и экономическую эффективность. Земли, занятые лесной растительностью, способствуют регулированию водного режима, предотвращая эрозию почвы и обеспечивая сохранение влаги, что положительно влияет на продуктивность сельскохозяйственных угодий [1].

Восстановление лесов улучшает качество воздуха и почвы, увеличивает содержание органического вещества, что способствует повышению плодородия и снижению затрат на удобрения. Лесной покров создает благоприятные условия для сохранения биоразнообразия, включая опылителей и естественных врагов вредителей сельскохозяйственных культур [2].

Защитные лесные полосы на границах полей смягчают климатические условия, снижая воздействие ветров и экстремальных температур, что обеспечивает стабильность урожаев. Кроме того, лесовосстановление уменьшает углеродный след сельскохозяйственного производства, поглощая углекислый газ, и помогает бороться с последствиями изменения климата [3]. Восстановленные лесные массивы способствуют развитию агролесоводства, улучшая взаимодействие лесных и сельскохозяйственных систем. Поэтому рассматривать лесовосстановление необходимо не только как восстановление природных экосистем, но и как стратегический инструмент повышения устойчивости и продуктивности сельскохозяйственных земель [4].

В исследованиях [5, 6] отмечено, что благодаря использованию спутниковых данных обеспечивается высокая точность оценки состояния лесов, а также возможность анализа динамики изменений занимаемых лесным фондом территорий. Мониторинг способствует раннему обнаружению деградированных участков, что минимизирует последствия антропогенных

и природных воздействий. Интеграция дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с методами искусственного интеллекта и геопортальными технологиями предоставляет возможность более эффективного планирования лесовосстановительных мероприятий, ускоряет принятие решений и позволяет учитывать пространственно-временные аспекты изменений [7].

Дистанционное зондирование может существенно облегчить процессы мониторинга растительного покрова в следующих направлениях:

- спутниковые данные позволяют отслеживать изменения в растительности, контролировать здоровье лесов и оценивать результаты выполненных работ [8];
- создание детализированных карт растительности и состояния экосистемы способствует эффективному планированию мероприятий по лесовосстановлению [9];
- анализ пространственных данных помогает выявить участки, подверженные деградации, и сосредоточить усилия на их восстановлении [10].

Цель исследования заключается в разработке методики анализа состояния и изменений



растительного покрова при планировании и реализации мероприятий по его восстановлению, основанной на анализе данных дистанционного зондирования Земли.

Основные задачи исследования:

- анализ пространственно-временных изменений растительного покрова;
- разработка подходов к идентификации зон, пригодных для восстановления лесов;
- апробация методики оценки состояния и изменений растительного покрова на примере участкового лесничества Тюменской области Тюменского района.

Научная новизна заключается в разработке комплексного метода мониторинга растительного покрова с использованием дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и ГИС. В отличие от существующих подходов, основанных преимущественно на полевых исследованиях, предложенная методика интегрирует данные спутников Sentinel-2 и геоинформационный анализ для автоматизированного выявления пространственно-временных изменений растительного покрова.

Апробация методики выполнена на примере охотничьих угодий Тюменской области Тюменского района № 17/4.

Ожидаемым результатом исследования является создание геоинформационной базы данных по состоянию растительного покрова участкового лесничества Тюменской области Тюменского района № 17/4, которая позволит проводить дальнейшие исследования и прогнозирование мероприятий по лесоустройству и лесовосстановлению.

В качестве инструмента для апробации методики анализа состояния и изменений лесного покрова использована геоинформационная система MapInfo Professional, обеспечивающая визуализацию, анализ и обработку пространственных данных.

Материалы и методы. Методология исследования состоит из следующих этапов:

1. Сбор и анализ данных дистанционного зондирования Земли. На этом этапе используются спутниковые данные (например, снимки с Landsat, Sentinel и других платформ), которые являются первичным источником информации о растительном покрове. Эти данные позволяют анализировать состояние растительного покрова на больших территориях.

2. Анализ исторических и современных изображений. Второй этап направлен на изучение динамики изменений за счет сравнения снимков за фиксированные временные интервалы. Исторические данные предоставляют основу для выработки трендов.

3. Сбор вспомогательных данных. Дополнительно собираются климатические, экологические и социальные данные, которые могут включать:

- изменения климата (температурные и осадочные показатели);
- информацию о природных нарушениях (стихийные бедствия, пожары, нашествия вредителей);
- данные о плотности населения, землепользовании, уровнях хозяйственной деятельности.

4. Применение геостатистических методов. Используются геостатистические модели для изучения пространственной структуры

растительности и ее изменений во времени. Применяемые методы могут быть кригингом для интерполяции пространственных данных или анализа автокорреляции с использованием индекса Морана [11].

5. Применение методов машинного обучения для детекции изменений (например, классификация с использованием алгоритмов случайного леса (Random Forest) или машина опорных векторов (SVM) [12].

6. Создание дополнительных тематических слоев. Этап создания включает создание слоя снижения лесного покрова и слоя территории, пригодной для лесовосстановления.

Более подробно этапы методики анализа состояния и изменений растительного покрова и их назначение представлены на рисунке 1.

Результаты исследования. Sentinel-2 предоставляет изображения с высоким разрешением на видимых и инфракрасных длин волн, чтобы контролировать растительность, почву и водной покров, внутренние водные пути и прибрежные районы.

Пространственное разрешение: 10 м, 20 м и 60 м, в зависимости от длины волны. Результаты сбора и анализа исходных данных представлены на рисунке 2.

Результаты апробации методики анализа состояния и изменений растительного покрова на основе данных дистанционного зондирования Земли представлены в виде цифровой карты, на которой показаны сельскохозяйственные угодья, лугово-степные комплексы, лесной покров, типы лесов, зоны вырубki, места



Рисунок 1. Этапы анализа состояния и изменений растительного покрова
Figure 1. Stages of the analysis of the state and changes of forest cover

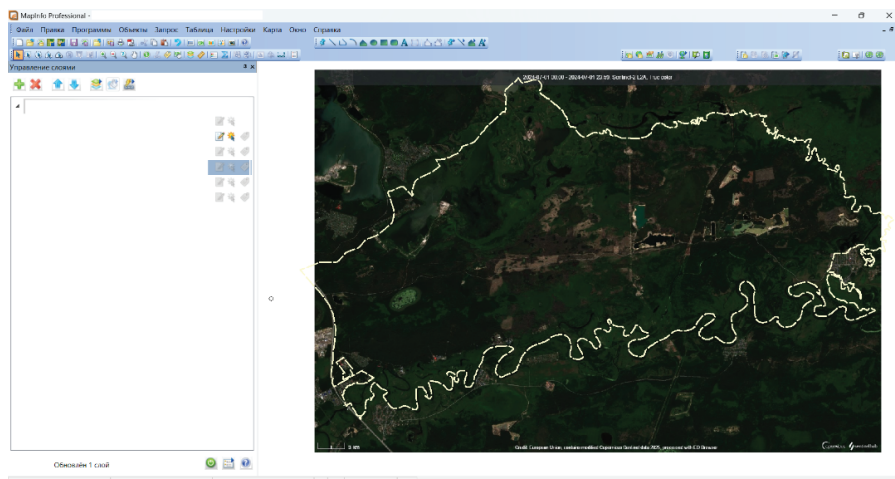


Рисунок 2. Рабочее окно программы MapInfo Professional для работы с участковым лесничеством № 17/4
Figure 2. The working window of the MapInfo Professional program for working with the district forestry № 17/4



восстановления, а также важные элементы растительной экосистемы. Результаты для участкового лесничества № 17/4 представлены на рисунке 3.

Общая площадь участкового лесничества № 17/4 составляет 12988,55 га, среди которых можно выделить следующие особенности:

1. Наиболее значительной категорией являются леса с преобладанием хвойных деревьев, занимающие площадь в 5902,26 га, что составляет 45,44% от общего объема. Также выделены молодняки и кустарники — 220,57 га и лиственные кустарники — 468,39 га. Это показывает, что леса, преимущественно хвойные, играют ключевую роль в данной экосистеме и могут быть важным элементом в сохранении биоразнообразия и экологии региона.

2. Болота занимают 1433,11 га (11,03%) и водные объекты (озера, пруды и водотоки) — 12,31%, что подтверждает их важность как эко-

системы, способствующей водообмену и под-держивающей биологическое разнообразие.

3. Сельскохозяйственные угодья, в частности луга и пашни, занимают относительно небольшую площадь по сравнению с лесами (5,58%), что указывает на низкий уровень сельскохозяйственной активности или потенциально охраняемую природу в исследуемом районе.

4. Кроме того, наличие незначительной площади (497,70 га или 5,38%) непригодных преобразованных и поврежденных участков может указывать на низкий уровень экологических проблем в регионе, таких как гари, ветровалы и торфоразработки, что говорит об отсутствии изменений в использовании земель.

Результаты этапа анализа изменений растительного покрова территории участкового лесничества № 17/4 в период с 2020 по 2024 гг. наглядно представлены в виде графика на рисунке 4.

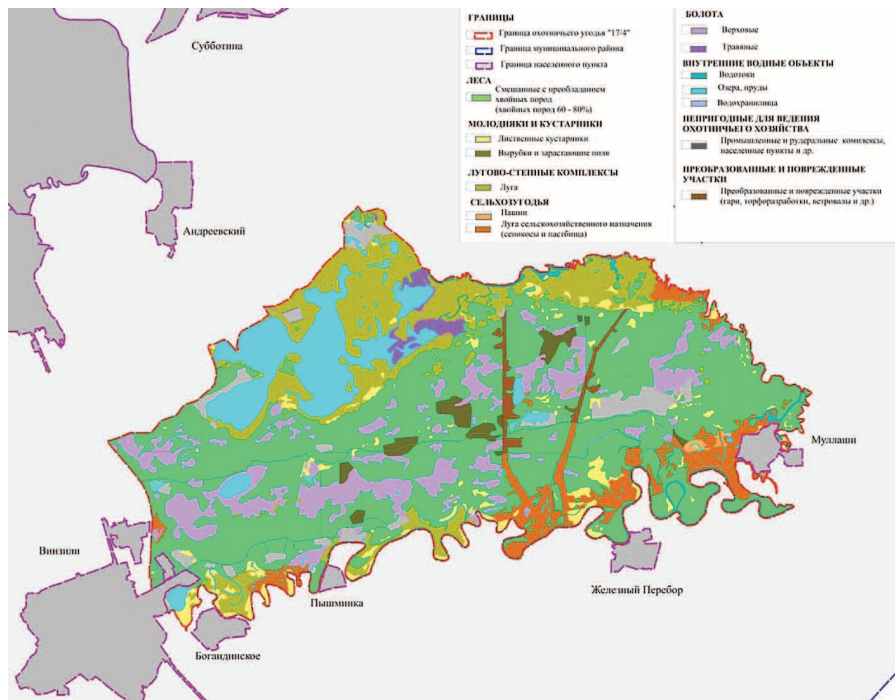


Рисунок 3. Карта функционального зонирования территории участкового лесничества № 17/4
Figure 3. Map of the functional zoning of hunting ground № 17/4

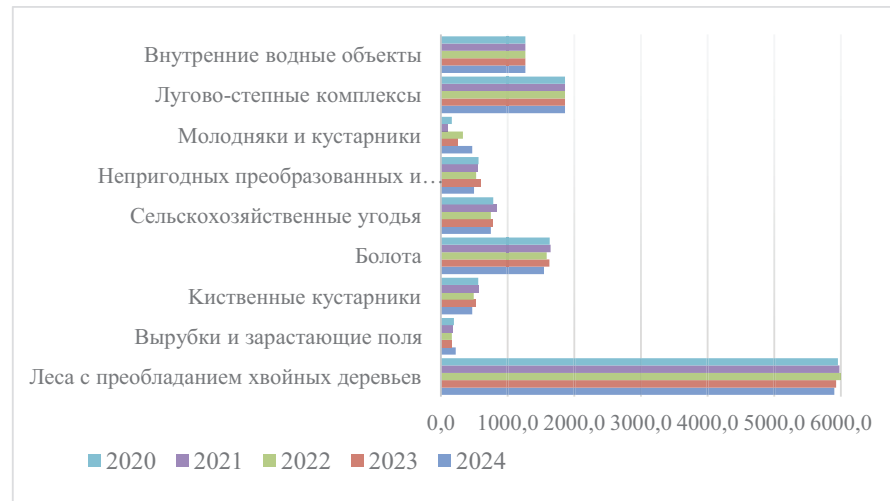


Рисунок 4. Динамика изменений участкового лесничества № 17/4
Figure 4. Dynamics of changes in the forest cover of the hunting ground № 17/4

В период с 2020 по 2024 гг. наблюдается незначительный рост молодняков и кустарников (с 163,6 тыс. га в 2020 г. до 468,4 тыс. га в 2024 г.) за счет изменения площади вырубок и зарастающих лесов, что может свидетельствовать о природной регенерации или изменении ландшафтного использования территорий.

Выводы. Структура земель участкового лесничества № 17/4 демонстрирует его большой природоохранный потенциал, а доминирующее положение хвойных лесов определяет как экологическую, так и хозяйственную значимость. Низкая доля сельскохозяйственных земель и отсутствие поврежденных участков свидетельствует о преобладании природных ландшафтов и относительно низком уровне антропогенного воздействия.

Технологии дистанционного зондирования Земли позволяют проводить оперативный мониторинг состояния растительного покрова, оценивать их изменения, планировать мероприятия по восстановлению и хозяйственному использованию земель [13].

Список источников

1. Смолин Н.И. Биотехнологии в сельском и лесном хозяйстве // Агрпромышленный комплекс в ногу со временем: сборник трудов Международной научно-практической конференции, Тюмень, 15 ноября 2023 г. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. С. 21-25.
2. Соколов В.А. Проблемы лесоустройства в России // Сибирский лесной журнал. 2021. № 1. С. 3-12.
3. Ушакова Е.О., Дубровский А.В., Меньших Н.С. Актуальные вопросы оценки рекреационного потенциала территории в рамках концепции устойчивого развития // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 3. № 2. С. 205-212.
4. Куликова О.В. О правовом регулировании использования лесов для ведения сельского хозяйства // Национальная Ассоциация Ученых. 2021. № 65-4 (65). С. 34-37.
5. Пристанкова А.А., Арбузов С.А., Дубовик Д.С., Тараканов В.В. Использование данных беспилотной аэрофотосъемки в мониторинге географических культур соны обыкновенной // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 4. № 2. С. 146-154.
6. Ховратович Т.С. Методы оценки показателей горизонтальной структуры лесов по оптическим данным дистанционного зондирования Земли: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.34., 2021. 121 с.
7. Шилов Д.А. Проблемы лесовосстановления в России // Научный аспект. 2024. Т. 12. № 2. С. 1538-1541.
8. Кашницкий А.В., Ховратович Т.С., Балашов И.В. Организация обработки данных ДЗЗ при решении задачи детектирования изменений лесного покрова на больших территориях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 103-111.
9. Подольская Е.С. Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса для распознавания изображения дорог в лесном хозяйстве // Вопросы лесной науки. 2022. Т. 5. № 4. С. 1-21.
10. Karpov, A., Waske, B. (2020). Method for transferring non-forest cover to forest cover land using Landsat imageries. *Russian Forestry Journal*, no. 3 (375), pp. 83-92.
11. Lei, G., Yao, R., Zhao, Ya., Zheng, Y. (2021). Detection and Modeling of Unstructured Roads in Forest Areas Based on Visual-2D Lidar Data Fusion. *Forests*, vol. 12, no. 7, p. 820.
12. Антонов С.А. Анализ пространственного положения защитных лесных насаждений на основе геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: материалы Международной конференции. М.: Из-во Московского университета, 2020. Т. 26. Ч. 2. С. 408-420.
13. Мазуров Б.Т., Аврунев Е.И., Хамедов В.А. Оперативный мониторинг лесных земель северных регионов на основе использования оптических и радарных кос-



мических снимков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 4. С. 103-111.

References

- Smolin, N.I. (2023). Biotekhnologii v sel'skom i lesnom khozyaistve [Biotechnologies in agriculture and forestry]. *Agropromyshlennyy kompleks v nogu so vremenem: sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Tyumen', 15 noyabrya 2023 g.* [Agro-industrial complex keeping up with the times: proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Tyumen, November 15, 2023]. Tyumen, State Agrarian University of the Northern Urals, pp. 21-25.
- Sokolov, V.A. (2021). Problemy lesoustroystva v Rossii [Problems of forest management in Russia]. *Sibirskii lesnoi zhurnal* [Siberian journal of forest science], no. 1, pp. 3-12.
- Ushakova, E.O., Dubrovskii, A.V., Men'shikh, N.S. (2021). Aktual'nye voprosy otsenki rekreatsiionnogo potentsiala territorii v ramkakh kontseptsii ustoychivogo razvitiya [Current issues of assessing the recreational potential of the territory within the framework of the concept of sustainable development]. *Interhksko Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia], vol. 3, no. 2, pp. 205-212.
- Kulikova, O.V. (2021). O pravovom regulirovaniy ispol'zovaniya lesov dlya vedeniya sel'skogo khozyaistva [On the legal regulation of the use of forests for agriculture]. *Natsional'naya Assotsiatsiya Uchenykh*, no. 65-4 (65), pp. 34-37.

- Pristanskova, A.A., Arbutov, S.A., Dubovik, D.S., Tarakanov, V.V. (2021). Ispol'zovanie dannykh bespilotnoi aehrofotos'emki v monitoringe geograficheskikh kul'tur sosny obyknovnoy [The use of unmanned aerial photography data in monitoring the geographical crops of the common pine]. *Interhksko Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia], vol. 4, no. 2, pp. 146-154.
- Khovratovich, T.S. (2021). *Metody otsenki pokazatelei gorizontnoi struktury lesov po opticheskim dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Methods for estimating indicators of the horizontal structure of forests based on optical data from remote sensing of the Earth]. Cand. technical sci. diss., 121 p.
- Shilov, D.A. (2024). Problemy lesovosstanovleniya v Rossii [Problems of reforestation in Russia]. *Nauchnyi aspekt*, vol. 12, no. 2, pp. 1538-1541.
- Kashnitskii, A.V., Khovratovich, T.S., Balashov, I.V. (2019). Organizatsiya obrabotki dannykh DZZ pri reshenii zadachi detektirovaniya izmenenii lesnogo pokrova na bol'shikh territoriyakh [Organization of remote sensing data processing when solving the problem of detecting changes in forest cover in large areas]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], vol. 16, no. 6, pp. 103-111.
- Podol'skaya, E.S. (2022). Ispol'zovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa dlya raspoznavaniya izobrazheniya dorog v lesnom khozyaistve [Using Earth remote sensing data from space to recognize images

of roads in forestry]. *Voprosy lesnoi nauki* [Forest science issues], vol. 5, no. 4, pp. 1-21.

- Karpov, A., Waske, B. (2020). Method for transferring non-forest cover to forest cover land using Landsat imageries. *Russian Forestry Journal*, no. 3 (375), pp. 83-92.
- Lei, G., Yao, R., Zhao, Ya., Zheng, Y. (2021). Detection and Modeling of Unstructured Roads in Forest Areas Based on Visual-2D Lidar Data Fusion. *Forests*, vol. 12, no. 7, p. 820.
- Antonov, S.A. (2020). Analiz prostranstvennogo polozheniya zashchitnykh lesnykh nasazhdenii na osnove geoinformatsionnykh tekhnologii i dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Analysis of the spatial position of protective forest stands based on geoinformation technologies and remote sensing data]. *InterKarto. InterGIS. Geoinformatsionnoe obespechenie ustoychivogo razvitiya territorii: materialy Mezhdunarodnoi konferentsii* [InterCarto. InterGIS. Geoinformation support for sustainable development of territories: proceedings of the International Conference]. Moscow, Moscow University Publishing house, vol. 26, no. 2, pp. 408-420.
- Mazurov, B.T., Avrunev, E.I., Khamedov, V.A. (2017). Operativnyi monitoring lesnykh zemel' severnykh regionov na osnove ispol'zovaniya opticheskikh i radarnykh kosmicheskikh snimkov [Operational monitoring of forest lands in the northern regions based on the use of optical and radar satellite images]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], vol. 14, no. 4, pp. 103-111.

Информация об авторах:

Подрядчикова Екатерина Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3463-1359>, Scopus ID: 57222616452, SPIN-код: 7396-0163, podryadchikovaed@tyuiu.ru

Мартынова Наталья Григорьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9603-5563>, Scopus ID: 57201687926, Researcher ID: ABF-1924-2021, SPIN-код: 2538-2741, martynovang@tyuiu.ru

Кустышева Ирина Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3145-2053>, Scopus ID: 57199411023, Researcher ID: JNS-3849-2023, SPIN-код: 2029-7990, kustyshevain@tyuiu.ru

Раева Ирина Валентиновна, аспирант кафедры геодезии и кадастровой деятельности, ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-9561-3575>, SPIN-код: 9961-8299, irinaf_98@mail.ru

Information about the authors:

Ekaterina D. Podryadchikova, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of geodesy and cadastral activities, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3463-1359>, Scopus ID: 57222616452, SPIN-code: 7396-0163, podryadchikovaed@tyuiu.ru

Natalia G. Martynova, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of geodesy and cadastral activities, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9603-5563>, Scopus ID: 57201687926, Researcher ID: ABF-1924-2021, SPIN-code: 2538-2741, martynovang@tyuiu.ru

Irina N. Kustysheva, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of geodesy and cadastral activity, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3145-2053>, Scopus ID: 57199411023, Researcher ID: JNS-3849-2023, SPIN-code: 2029-7990, kustyshevain@tyuiu.ru

Irina V. Raeva, postgraduate student of the department of geodesy and cadastral activities, ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-9561-3575>, SPIN-code: 9961-8299, irinaf_98@mail.ru

✉ podryadchikovaed@tyuiu.ru

ЖУРНАЛЫ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ЭЛЕКТРОННАЯ НАУКА»



Международный журнал прикладных наук и технологий «INTEGRAL» издается 6 раз в год.

- Стратегический научный партнер журнала «Государственный университет по землеустройству».
- INTEGRAL цитируется в РИНЦ, Google Scholar, КиберЛенинке.
- Научным публикациям присваивается международный цифровой индикатор DOI.
- Журнал участник программы открытого доступа к научным публикациям.

Контакты: <https://e-integral.ru>, e-science@list.ru

