

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

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.94>

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «УГРА»

Научная статья

Чернышенко В.С.<sup>1,\*</sup>, Рукосуев Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0001-6635-4168;

<sup>2</sup>ORCID : 0009-0000-5996-542X;

<sup>1,2</sup> Финансовый университет при правительстве Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (vschernyshenko[at]fa.ru)

**Аннотация**

В условиях активного антропогенного воздействия и изменения климата вопросы мониторинга и управления лесными ресурсами становятся особенно актуальными. Эта статья посвящена анализу применимости современных методов дистанционного зондирования Земли для идентификации и оценки динамики земель, поросших лесом, на примере национального парка «Угра». Исследование базируется на анализе спутниковых данных, применении вегетационных индексов NDVI и EVI и использовании методов машинного обучения для классификации территорий. Основные результаты работы демонстрируют, как данные подходы могут способствовать повышению точности и эффективности мониторинга лесных территорий. Результаты могут быть использованы для улучшения управления и сохранения биоразнообразия в условиях глобальных экологических изменений.

**Ключевые слова:** NDVI, EVI, ДЗЗ, мониторинг лесов.

APPLICATION OF SATELLITE DATA AND VEGETATION INDICES TO ANALYSE THE DYNAMICS OF FOREST AREAS ON THE EXAMPLE OF THE "UGRA" NATIONAL PARK

Research article

Chernishenko V.S.<sup>1,\*</sup>, Rukosuev D.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0001-6635-4168;

<sup>2</sup>ORCID : 0009-0000-5996-542X;

<sup>1,2</sup> Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

\* Corresponding author (vschernyshenko[at]fa.ru)

**Abstract**

In the conditions of active anthropogenic impact and climate change, the issues of monitoring and management of forest resources become especially relevant. This article is dedicated to analysing the applicability of modern Earth remote sensing methods for identification and evaluation of forested land dynamics on the example of the "Ugra" National Park. The study is based on the analysis of satellite data, the application of NDVI and EVI vegetation indices and the use of machine learning methods for territory classification. The main results of the work demonstrate how these approaches can contribute to improving the accuracy and efficiency of forest area monitoring. The results can be used to improve biodiversity management and conservation in the face of global environmental change.

**Keywords:** NDVI, EVI, ERS, forest monitoring.

**Введение**

Целью данного исследования является создание системы для точного определения площади земель, поросших лесом, на заданной территории. Эта задача особенно актуальна в контексте глобальных экологических изменений и необходимости эффективного управления природными ресурсами. Аналогичные методы дистанционного мониторинга и использование вегетационных индексов, таких как NDVI и EVI, уже успешно применялись в аграрном секторе для мониторинга сельскохозяйственных угодий, что демонстрируется в работе Худайназарова С.А. и Шамуратова А.А. [7, С. 130-133], где данные спутников Sentinel использовались для создания электронной карты полей и мониторинга состояния посевов. В нашем исследовании подобные подходы адаптированы для идентификации и оценки земель, заросших лесом, что позволяет расширить понимание потенциала дистанционного зондирования в экологическом мониторинге и управлении.

Целью данного исследования является разработка и апробация методов дистанционного мониторинга, позволяющих идентифицировать и анализировать территории, поросшие лесом, на примере национального парка «Угра» с площадью 986,245 км<sup>2</sup> [8]. Особое внимание уделяется анализу возможностей вегетационных индексов NDVI и EVI, которые широко используются для оценки состояния растительного покрова. Эффективность NDVI в оценке состояния лесных насаждений на нарушенных землях подтверждается работой Оплетаяева и соавт. [9, С. 16-20], а способность EVI точно классифицировать лесные насаждения демонстрируется в исследовании Пушкина и соавт. [10, С. 5-10]. Кроме того, применяются методы машинного обучения для повышения точности классификации территорий, что расширяет потенциал дистанционного зондирования в экологическом мониторинге и управлении.

Задачами исследования являются:

- анализ и выбор оптимальных спутниковых платформ и данных для мониторинга лесных территорий;

- разработка методического подхода к расчёту вегетационных индексов и их корреляции с состоянием древостоев;
- оценка изменений площади лесных территорий национального парка «Угра» на основе временных рядов спутниковых данных.

### Основная часть

Для достижения целей данного исследования были использованы данные со спутниковых платформ, таких как Landsat-8 и Sentinel-2, которые предоставляют качественные мультиспектральные изображения, позволяющие проводить анализ растительного покрова с высоким разрешением. Данные с этих спутников находятся в открытом доступе, что делает их идеальными для научных исследований и мониторинга окружающей среды. О значении и применении данных спутников для территориального мониторинга свидетельствуют исследования Li J. Roy D. P., которые анализировали результаты мониторинга земли [4]. Также работы Kaplan и его коллег, применяющие данные для оценки сельскохозяйственных культур [3].

В ходе нашего исследования были использованы несколько ключевых библиотек для обработки и анализа геопространственных данных. Библиотека Rasterio, основная утилита для работы с растровыми изображениями, была применена для чтения и записи геопространственных растровых данных. GeoPandas, расширяющая возможности библиотеки pandas для работы с геоданными, использовалась для манипуляций с геодатасетами и визуализации. Для применения алгоритмов машинного обучения мы использовали Scikit-learn, что позволило эффективно классифицировать типы земельного покрытия.

Вегетационные индексы NDVI и EVI использовались для оценки состояния растительности. NDVI [1] рассчитывается по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

Где NIR обозначает отражение в ближнем инфракрасном спектре, а RED – в красном.

EVI [2] учитывает поглощение аэрозолями и коррекцию фона почвы, и его формула имеет вид:

$$EVI = G \cdot \frac{NIR-RED}{NIR+C1 \cdot RED-C2 \cdot BLUE+L}$$

Где BLUE обозначает отражение в синем спектре.

В рамках исследования применялась методика анализа временных рядов мультиспектральных данных за последние 33 года для определения территорий, потенциально заброшенных сельскохозяйственных угодий, которые заросли лесом. Этот подход позволил оценить значительные изменения в использовании земель, особенно после приватизации сельхозугодий. Используя спектральные характеристики земель на различных временных отрезках, метод позволял выявлять участки, на которых наблюдалось увеличение древостоев, что указывает на процесс зарастания лесом (см рис. 1 и 2). Участки, на которых обнаружилось значительное увеличение древостоев на прежде задействованных в сельском хозяйстве или неиспользуемых землях, классифицировались как потенциально заброшенные, претерпевшие процесс зарастания.

В дополнение к традиционным методам, в исследовании были апробированы две основные модели машинного обучения – метод порогового значения и более сложные алгоритмы, включая сверточные нейронные сети, которые описаны в работе Скрипачева В.О. и соавт. [6, С. 53-59]. Модели случайного леса, подробно исследованные в исследовании Minfei M. и соавт. [5]. Эти методы были использованы для обработки мультиспектральных данных с целью классификации типов земельного покрытия, что позволило не только выявить участки, заросшие лесом, но и оценить степень их заброшенности.

Для выявления динамики озеленённости национального парка был взят диапазон с 1990-2023 года в среднем с шагом 5 лет (см. рис. 1 и 2). Такой разброс по времени связан с отсутствием качественных данных пригодных для анализа в некоторые года.

Процент зеленых пикселей на рис.1(б): 19%. Процент зеленых пикселей на рис.2(б): 68%.

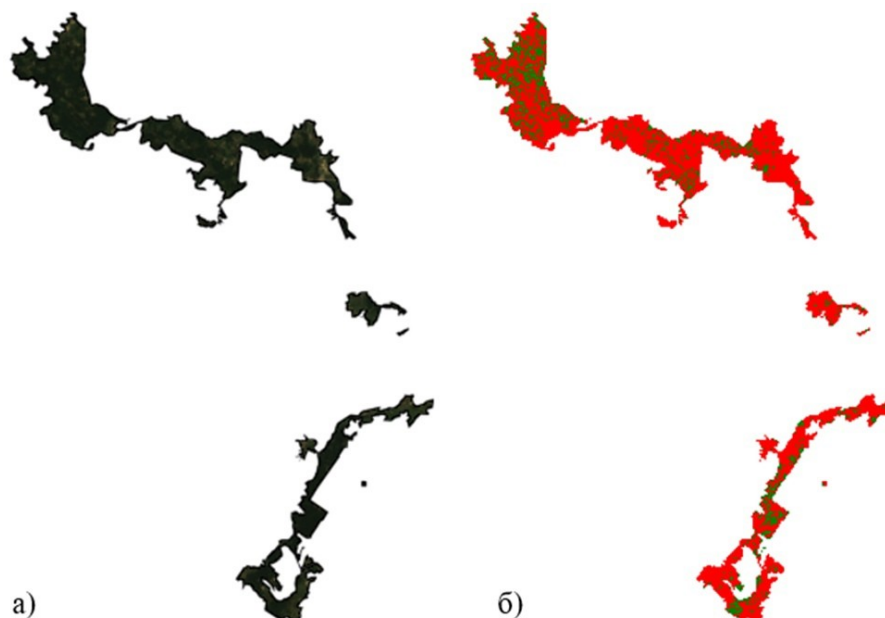


Рисунок 1 - Национальный парк (а) и цветовая схема (б) в 1990 году  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.94.1>

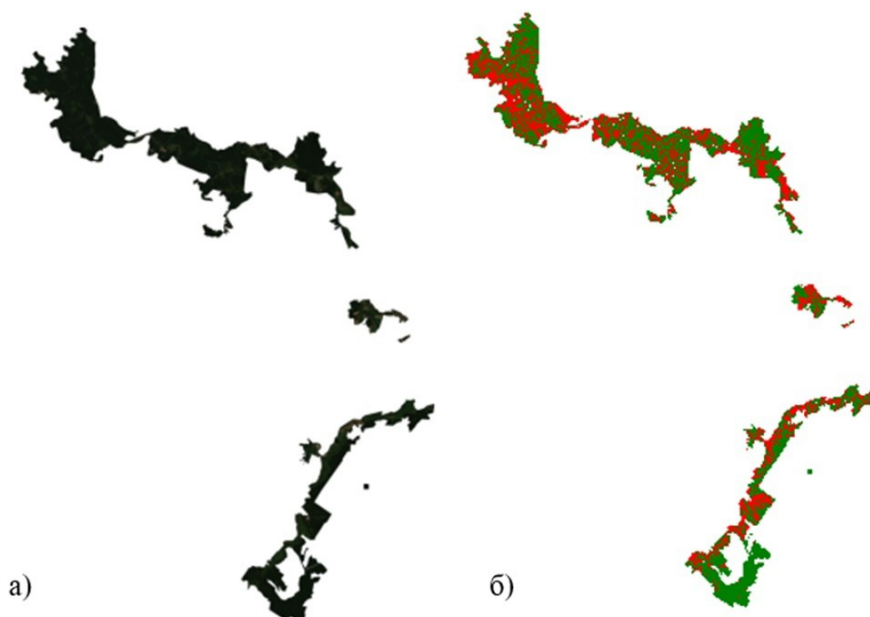


Рисунок 2 - Национальный парк (а) и цветовая схема (б) в 2023 году  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.94.2>

В результате проведенного исследования были получены значимые данные о динамике зарастания сельскохозяйственных угодий лесом на территории национального парка «Угра». Анализ временных рядов позволил выявить территории, которые подверглись значительным изменениям в результате отсутствия аграрного использования после приватизации. За 1990-2023 площадь территории, покрытой лесами, увеличилась в 3.6 раз, что соответствует 476,785 км<sup>2</sup>.

Результаты исследования могут быть использованы для управления земельными ресурсами в любых регионах России. Данные могут способствовать разработке программ восстановления лесов и рекультивации заброшенных земель. Также результаты могут быть полезны для корректировки национальной и региональной экологической политики, направленной на улучшение состояния и управление лесными экосистемами.

#### **Заключение**

В ходе данного исследования были успешно применены методы дистанционного зондирования Земли для анализа и мониторинга изменений в площади лесных территорий национального парка «Угра». Использование спутниковых данных совместно с вегетационными индексами NDVI и EVI позволило не только оценить текущее состояние лесного покрова, но и проследить динамику его изменений.

**Основные результаты:**

- 1) совместное использование данных с нескольких спутниковых платформ значительно повышает точность оценок изменений в лесных территориях, которая составила 97%;
- 2) интеграция методов машинного обучения с традиционными методами ДЗЗ способствовала более глубокому анализу данных и улучшению классификации территорий;
- 3) исследование предоставляет важные данные для экологического управления и планирования.

Основные результаты работы демонстрируют, как данные подходы могут способствовать повышению точности и эффективности мониторинга лесных территорий. Результаты могут быть использованы для улучшения управления и сохранения биоразнообразия в условиях глобальных экологических изменений.

**Благодарности**

Автор выражает благодарность научному руководителю Чернышенко В.С.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Кацко С.Ю., Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Российская Федерация  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.94.3>

**Acknowledgement**

The author expresses their gratitude to their supervisor Chernyshenko V.S.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

Katsko S.Y., Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.94.3>

**Список литературы / References**

1. Пасько О.А. Оценка состояния припоселковых кедровников Томской области с использованием данных дистанционного зондирования Земли / О.А. Пасько, О.С. Токарева, А.А. Алшаибии др. // Известия ТПУ. — 2019. — 1. — с. 4.
2. Bunkei M. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density / M. Bunkei, Y. Wei, C. Jin et al. // Sensors. — 2007. — 7. — p. 2638.
3. Gregoriy K. Using Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery for estimating cotton crop coefficient, height, and Leaf Area Index / K. Gregoriy et al. // Agricultural Water Management. — 2023. — 276.
4. Li J. A global analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 data revisit intervals and implications for terrestrial monitoring / J. Li, D.P. Roy // Remote Sensing. — 2017. — 9.
5. Minfei M. Tree Species Classification Based on Sentinel-2 Imagery and Random Forest Classifier in the Eastern Regions of the Qilian Mountains / M. Minfei, L. Jianhong, L. Mingxing et al. // MDPI. — 2021. — 12.
6. Скрипачев В.О. Особенности работы сверточных нейронных сетей / В.О. Скрипачев, М.В. Гуйда, Н.В. Гуйда и др. // International Journal of Open Information Technologies. — 2022. — 12. — с. 53-59.
7. Худайназаров С.А. Опыт дистанционного мониторинга посевных угодий / С.А. Худайназаров, А.А. Шамурадов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2023. — 4. — с. 130-133.
8. Википедия // Угра (национальный парк). — 2022 — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Угра\\_\(национальный\\_парк\)#Рельеф\\_и\\_природные\\_ландшафты](https://ru.wikipedia.org/wiki/Угра_(национальный_парк)#Рельеф_и_природные_ландшафты) (дата обращения: 02.05.2024)
9. Оплетаев А.С. Использование вегетационного индекса NDVI для оценки состояния лесных насаждений на нарушенных землях / А.С. Оплетаев, Е.В. Жигулин, В.А. Косов // Леса России и хозяйство в них. — 2019. — 3. — с. 16-20.
10. Пушкин А.А. Оценка возможностей использования спектрального вегетационного индекса evi для дешифрирования лесных насаждений по материалам космической съемки / А.А. Пушкин, Н.Я. Сидельник, С.В. Ковалевский // Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. — 2020. — 1. — с. 5-10.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Pas'ko O.A. Otsenka sostojanija priposelkovykh kedrovnikov Tomskoj oblasti s ispol'zovaniem dannyh distantsionnogo zondirovanija Zemli [Assessment of the condition of village pine trees in the Tomnikov region using Earth remote sensing data] / O.A. Pas'ko, O.S. Tokareva, A.A. Alshaibi et al. // Proceedings of TPU. — 2019. — 1. — p. 4. [in Russian]
2. Bunkei M. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density / M. Bunkei, Y. Wei, C. Jin et al. // Sensors. — 2007. — 7. — p. 2638.
3. Gregoriy K. Using Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery for estimating cotton crop coefficient, height, and Leaf Area Index / K. Gregoriy et al. // Agricultural Water Management. — 2023. — 276.
4. Li J. A global analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 data revisit intervals and implications for terrestrial monitoring / J. Li, D.P. Roy // Remote Sensing. — 2017. — 9.
5. Minfei M. Tree Species Classification Based on Sentinel-2 Imagery and Random Forest Classifier in the Eastern Regions of the Qilian Mountains / M. Minfei, L. Jianhong, L. Mingxing et al. // MDPI. — 2021. — 12.

6. Skripachev V.O. Osobennosti raboty svertochnyh nejronnyh setej [Operating Features of Convolutional Neural Networks] / V.O. Skripachev, M.V. Gujda, N.V. Gujda et al. // International Journal of Open Information Technologies. — 2022. — 12. — p. 53-59. [in Russian]
7. Hudajazarov S.A. Opyt distantsionnogo monitoringa posevnyh ugodij [Experience in remote monitoring of cropped land] / S.A. Hudajazarov, A.A. Shamuradov // International Journal of Humanities and Sciences. — 2023. — 4. — p. 130-133. [in Russian]
8. Vikipedija [Wikipedia] // Ugra (national park). — 2022 — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Угра\\_\(национальный\\_парк\)#Рельеф\\_и\\_природные\\_ландшафты](https://ru.wikipedia.org/wiki/Угра_(национальный_парк)#Рельеф_и_природные_ландшафты) (accessed: 02.05.2024) [in Russian]
9. Opletaev A.S. Ispol'zovanie vegetatsionnogo indeksa NDVI dlja otsenki sostojanija lesnyh nasazhdenij na narushennyh zemljah [Using the NDVI vegetation index to assess the condition of forest plantations on disturbed lands] / A.S. Opletaev, E.V. Zhigulin, V.A. Kosov // Forests of Russia and farming in them. — 2019. — 3. — p. 16-20. [in Russian]
10. Pushkin A.A. Otsenka vozmozhnostej ispol'zovanija spektral'nogo vegetatsionnogo indeksa evi dlja deshifirovanija lesnyh nasazhdenij po materialam kosmicheskoy s'emki [Assessment of the possibilities of using the spectral vegetation index evi to interpret forest plantations using satellite imagery materials] / A.A. Pushkin, N.Ja. Sidel'nik, S.V. Kovalevskij // Forestry, environmental management and processing of renewable resources. — 2020. — 1. — p. 5-10. [in Russian]