

Оригинальная статья

УДК 630*524.4:528.88

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-4-113-123>



ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ПОВЫДЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А.В. Мироненко¹, В.А. Славский^{2✉}, Д.А. Литовченко³

^{1,2,3} Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Российская Федерация

¹ alexeymironenko66@gmail.com; ORCID: 0000-0002-9701-3822;

² slavskiyva@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-6579-0344;

³ timashchuk90@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2973-7447

Аннотация: Представлена усовершенствованная методика мониторинга состояния лесных экосистем на основе анализа временных рядов вегетационных индексов (на примере индекса EVI) по данным дистанционного зондирования Земли. В данной работе использованы материалы спутниковой съемки Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м. Ключевая особенность – использование в качестве территориальной единицы при оценке состояния насаждений лесотаксационных выделов. Это существенно повысит значимость получаемых результатов и позволит принимать оперативные управленческие решения в области охраны, защиты и воспроизводства лесов. Методический подход базируется на применении статистического анализа при определении адаптивных пороговых значений вегетационных индексов, рассчитываемых индивидуально для каждого временного периода на основе t-распределения Стьюдента. Апробация методики на территории Пригородного лесничества Воронежской области (2041 выдел) выявила устойчивый негативный тренд: доля таксационных выделов с отрицательной динамикой состояния насаждений возросла с 12.6% (2020-2022 гг.) до 40.7% (2020-2025 гг.), тогда как доля участков с положительной динамикой сократилась с 27.7% (2020-2022 гг.) до 2.5% (2020-2025 гг.). Выявлено 203 выдела (9.9%), требующих первоочередного обследования, где снижение жизнеспособности насаждения превысило пороговое значение (критическое снижение EVI). Наиболее уязвимыми оказались дубовые низкоствольные насаждения (44%) и мягколиственные породы (37%). При верификации данных ДЗЗ с материалами натурного обследования выявлено высокое сходство полученных результатов. Отмечено, что снижение значений вегетационных индексов может быть связано как с деградационными процессами, так и с плановыми рубками ухода. Предложенный подход может быть интегрирован в региональные системы экологического мониторинга для раннего выявления участков с аномальной динамикой состояния растительности.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ FZUR-2024-0002) по теме «Разработка технологических решений, направленных на повышение эффективности лесопожарного мониторинга и детализацию оценки последствий лесных пожаров в условиях Центральной лесостепи».

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, лесные экосистемы, EVI, Sentinel-2, лесотаксационные выделы, адаптивные пороговые значения, t-распределение Стьюдента, охрана окружающей среды

Формат цитирования: Мироненко А.В., Славский В.А., Литовченко Д.А. Оценка динамики состояния лесных экосистем на повывдельной основе с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Природообустройство. 2026;Т.19(4):113-123. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-4-113-123>

Original article

ASSESSMENT OF THE STATE OF FOREST ECOSYSTEMS ON A ROUTINE BASIS USING REMOTE SENSING DATA

A.V. Mironenko^{1✉}, V.A. Slavskiy², D.A. Litovchenko³

^{1,2,3} Voronezh state university of forestry and technologies named after G.F. Morozov; Voronezh, Russian Federation

¹ alexeymironenko66@gmail.com; ORCID: 0000-0002-9701-3822

² slavskiyva@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-6579-0344

³ timashchuk90@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2973-7447

Abstract. This paper presents an improved methodology for monitoring forest ecosystem health based on the analysis of time series of vegetation indices (using the EVI index as an example) using Earth remote sensing data. This study utilizes Sentinel-2 satellite imagery with a spatial resolution of 10 m. A key feature is the use of forest inventory stands as a territorial unit for assessing forest health. This significantly increases the significance of the results obtained and enables prompt management decisions regarding forest conservation, protection, and restoration. The methodological approach utilizes statistical analysis to determine adaptive threshold values for vegetation indices, calculated individually for each time period using Student's t-distribution. Testing of the methodology in the Prigorodnoye Forestry of the Voronezh Region (2041 forest plots) revealed a persistent negative trend: the share of forest plots with negative dynamics in stand condition increased from 12.6% (2020-2022) to 40.7% (2020-2025), while the share of plots with positive dynamics decreased from 27.7% (2020-2022) to 2.5% (2020-2025). A total of 203 forest plots (9.9%) were identified as requiring priority inspection, where the decline in stand viability exceeded the threshold value (critical decrease in EVI). The most vulnerable were low-stem oak stands (44%) and softwood deciduous trees (37%). Verification of remote sensing data with in-situ survey materials revealed a high similarity between the obtained results. It was noted that the decrease in vegetation index values may be associated with both degradation processes and planned thinning. The proposed approach can be integrated into regional environmental monitoring systems for the early detection of areas with abnormal vegetation dynamics.

The work was carried out within the framework of the implementation of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. FZUR-2024-0002) on the topic “Development of technological solutions aimed at increasing the efficiency of forest fire monitoring and detailing the assessment of the consequences of forest fires in the Central Forest-Steppe.”

Keywords: remote monitoring, forest ecosystems, EVI, Sentinel-2, forest inventory compartments, adaptive threshold values, Student's t-distribution, environmental protection

Format of citation: Mironenko A.V., Slavskiy V.A., Litovchenko D.A. Assessment of the state of forest ecosystems on a routine basis using Earth remote sensing data. *Prirodoobustroystvo*. 2026;19(4):113-123. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-4-113-123>

Введение. Лесные экосистемы играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле, сохранении биоразнообразия лесных ресурсов и стабилизации климатических процессов. Однако в условиях постоянно возрастающего антропогенного прессинга и интенсификации климатических изменений, леса подвергаются масштабной деградации, выражающейся в снижении их продуктивности, усыхании и нарушении структуры древостоев. Оперативное отслеживание и регистрация текущих изменений в лесных насаждениях, а также прогнозирование состояния лесов и динамики основных таксационных характеристик лесного фонда является ключевой задачей проведения лесного мониторинга [1], что имеет первостепенное значение для своевременного выявления

негативных процессов и принятия обоснованных управленческих решений.

Следует отметить, что традиционные наземные методы таксации обеспечивают высокую точность локальных оценок, но ограничены по площади, трудоемки и не позволяют проводить непрерывный мониторинг на региональном и глобальном уровнях [2]. В связи с этим ведущую роль в мониторинге состояния лесов заняли методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые предоставляют широкие возможности для непрерывной оценки состояния растительного покрова. Ряд авторов отмечает высокую эффективность использования пространственной информации, получаемой на основе спутниковых мультиспектральных данных Sentinel-2 [3, 4, 5, 6 и др.].

Известно, что индексы вегетации, прежде всего NDVI и EVI, достоверно отражают изменения состояния и структуры насаждений [7], что делает их пригодными для диагностики фотосинтетической активности [8]. Однако NDVI имеет ряд ограничений, включая быструю насыщенность в лесах с высокой сомкнутостью полога и повышенную чувствительность к атмосферным помехам [9]. В частности, значения NDVI не позволяют отличить отражательную способность деревьев от отражательной способности травы, даже с учетом кардинально разного объема фитомассы [10]. Кроме того, отмечается зависимость значений индекса NDVI от типа леса, а также от пространственного разрешения снимков [11]. В отличие от NDVI, EVI менее подвержен насыщению в сомкнутых древостоях и включает коррекцию атмосферного влияния, что делает его предпочтительным для анализа состояния лесных экосистем [12, 13].

Важно отметить, что данные лесоустройства – векторные слои лесотаксационных выделов – остаются недостаточно востребованными в системах спутникового мониторинга, хотя именно они являются основной учетной единицей лесного хозяйства. Использование выделов в качестве единиц анализа позволяет преодолеть разрыв между данными ДЗЗ и практическими потребностями лесоправления.

Еще одна методическая проблема связана с определением пороговых значений для выявления степени деградации насаждений. Традиционный подход, основанный на предположении о нормальности распределения изменений значений вегетационных индексов ($\mu \pm k\sigma$), не всегда корректен [14, 15], поскольку эмпирические распределения ΔEVI часто характеризуются асимметрией и относятся к классу субэкспоненциальных (т.е. модель имеет «тяжелые хвосты»). Это требует применения более гибких статистических моделей при выявлении нарушения лесного насаждения, рассчитываемых на основе статистического распределения, наилучшим образом описывающего эмпирические данные.

Учитывая вышесказанное, определена **цель исследования**: разработка и апробация методики мониторинга состояния лесного фонда, с применением временных рядов EVI на повыделной основе.

Материалы и методы исследований. Исследование проводилось на территории Животиновского участкового лесничества Пригородного лесничества Воронежской области, расположенного в лесостепной зоне. В качестве картографической основы использовались векторные

материалы лесоустройства (цифровые планшеты), предоставленные Министерством лесного хозяйства Воронежской области. Исходный векторный слой включал 2041 полигон (выдел) с атрибутивной информацией о таксационных характеристиках древостоя, на который впоследствии накладывались остальные тематические слои.

В качестве исходных пространственных данных использованы мультиспектральные снимки спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B (уровень обработки Level-2A, включающий атмосферную коррекцию). Отбор снимков осуществлялся в пределах вегетационного периода (август) 2020, 2022, 2023 и 2025 годов с допустимой облачностью не более 10-15%. Для каждого временного среза выполнялся расчет вегетационного индекса EVI с последующим извлечением средних значений по каждому выделу, методом зональной статистики. Для оценки динамики вычислялись разности $\Delta EVI = EVI_{t_2} - EVI_{t_1}$, где t_1 – базовый 2020 год, а t_2 – 2022, 2023 и 2025 соответственно.

Статистическая обработка выполнена на языке Python (с использованием библиотек SciPy и Scikit-learn [16, 17]). Для каждого интервала проводился анализ соответствия эмпирического распределения ΔEVI теоретическим моделям: нормальному, t-распределению Стьюдента, Коши, а также смесью нормальных распределений. Качество подгонки моделей оценивалось по информационному критерию Акаике (AIC). На основе наилучшей модели определялись пороговые значения, соответствующие 2,5% и 97,5% квантилям (95%-й интервал нормы), с последующим введением корректирующего коэффициента 0,7 [18].

Результаты и обсуждение. Общая динамика состояния растительности на исследуемой территории отражает реакцию лесных массивов на антропогенную нагрузку и климатические изменения. Для комплексной оценки состояния лесных экосистем принципиально важно отслеживать многолетние изменения количества их фитомассы, что достигается при проведении экологического мониторинга на дистанционной основе.

При долгосрочном наблюдении выявляются точки критического снижения продуктивности насаждений и способность экосистемы к восстановлению. В частности, анализ средних по участковому лесничеству значений EVI выявил устойчивый негативный тренд (табл. 1).

После относительной стабильности в период 2020-2022 гг., начиная с 2023 года фиксируется прогрессирующее снижение индекса: с 0,3206 в 2020 г. до 0,3009 в 2025 г. (общая отрицательная динамика составила –6,1%).

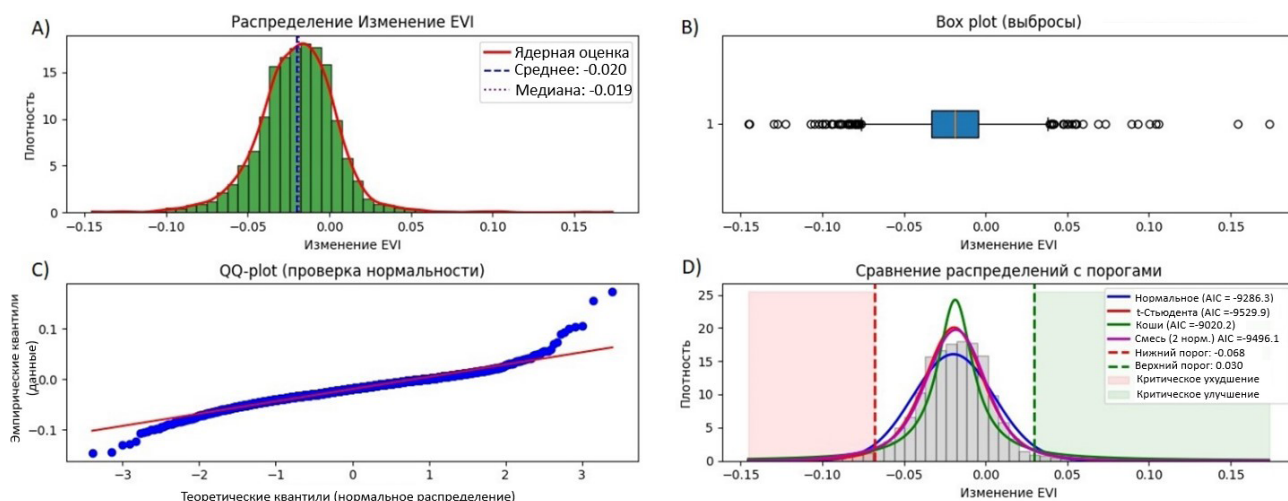
Таблица 1. Средние статистические значения EVI по Животиновскому участковому лесничеству за период 2020-2025 гг.

Table 1. Average statistical values of EVI for the Zhivotynovskoe district forestry for the period 2020-2025

Год	Среднее значение EVI	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент изменчивости, %
2020	0,3206	0,0926	28,8
2022	0,3259	0,0896	26,6
2023	0,3139	0,0883	28,1
2025	0,3009	0,0828	27,5

Наблюдаемое уменьшение абсолютных значений стандартного отклонения (с 0,0926 до 0,0828) происходит сонаправлено со снижением среднего индекса. При этом коэффициент изменчивости на протяжении всего периода удерживается в пределах 26,6-28,8%, что указывает на сохранение стабильной неоднородности состояния растительного покрова. Это свидетельствует о том, что негативные процессы носят масштабный (общетерриториальный) характер и затрагивают лесной массив относительно равномерно.

Для объективного разделения естественных колебаний вегетации и реальных деструктивных процессов, происходящих в лесном насаждении, необходимо надежное статистическое обоснование пороговых значений изменений вегетационных индексов. Такой подход позволяет выявить естественную реакцию древостоев, вызванную сезонными или климатическими факторами. С этой целью проведен комплексный статистический анализ изменений ΔEVI за период 2020-2025 гг. (рис. 1).

Рис. 1. Статистический анализ распределения изменений значений вегетационного индекса EVI (ΔEVI) за период 2020-2025 гг.

А – ядерная оценка плотности (для визуального сравнения с теоретическими распределениями и выбора наилучшей модели на основе критерия AIC);

В – диаграмма размаха (медиана –0,019, интерквартильный размах от –0,033 до –0,005);

С – Q-Q график для проверки нормальности распределения;

Д – гистограмма эмпирического распределения с теоретическими кривыми: нормальное (AIC= –9286,3), t-Стюдента (AIC= –9529,9), Коши (AIC= –9020,2), смесь двух нормальных (AIC= –9496,1). Вертикальные линии – пороговые значения критического ухудшения (–0,068) и улучшения (0,030) состояния растительности.

Fig. 1. Statistical analysis of the distribution of changes in the EVI vegetation index (ΔEVI) for the period 2020-2025

A – nuclear density estimation (for visual comparison with theoretical distributions and selection of the best model based on the AIC criterion);

B – range diagram (median –0.019, interquartile range from –0.033 to –0.005);

C – Q-Q schedule to check the normality of the distribution;

D is a histogram of the empirical distribution with theoretical curves: normal (AIC= –9286.3), t-Student's (AIC= –9529.9), Cauchy (AIC= –9020.2), a mixture of two normal (AIC= –9496.1). Vertical lines are the threshold values of critical deterioration (–0.068) and improvement (0.030) of vegetation condition.

Распределение t-Стьюдента демонстрирует наилучшее соответствие эмпирическим данным, обладая наименьшим информационным критерием Акаике ($AIC = -9529,9$) [19]. Это подтверждается характерным S-образным отклонением точек на Q-Q графике (рис. 1C) от теоретической прямой нормального распределения, что указывает на наличие «тяжелых хвостов». Наличие таких «хвостов» и выраженной эксцессивности распределения наглядно иллюстрируется диаграммой размаха (рис. 1B), где фиксируется значительное количество экстремальных выбросов. Сдвиг медианы в отрицательную область ($-0,019$) и асимметрия распределения в сторону критического порога ухудшения ($-0,068$, рис. 1D) свидетельствуют о преобладании деградиционных процессов над восстановительными на уровне отдельных пикселей (выделов) исследуемой территории.

Для того чтобы строго аргументировать неприменимость стандартных статистических методов и подтвердить аномальный характер данных, была проведена проверка на нормальность распределения. Тест Шапиро-Уилка [20] подтвердил статистически значимое отклонение эмпирических распределений от нормального для всех рассматриваемых периодов ($p < 0,001$). Сравнение критериев AIC (табл. 2) показывает безусловное преимущество t-распределения Стьюдента.

На основе параметров аппроксимирующих t-распределений рассчитаны адаптивные пороги выявления изменений индекса EVI , что может считаться критическим ухудшением состояния насаждений. Использование классического подхода ($\mu \pm 2\sigma$) без учета «тяжелых хвостов» распределения дало бы для 2025 года заниженный по модулю порог ($0,030$), что привело бы к ложноположительному пропуску существенной части мелкомасштабных нарушений растительного покрова.

Классификация состояния насаждений проводилась по следующей схеме:

Критическое ухудшение: $\Delta EVI < - (K)$;

Умеренное ухудшение: $-(K) \leq \Delta EVI < -(Y)$;

Стабильное состояние: $-(Y) \leq \Delta EVI \leq + (Y)$;

Умеренное улучшение: $+(Y) < \Delta EVI \leq + (K)$;

Критическое улучшение: $\Delta EVI > + (K)$;

где, (K) – критический порог; (Y) – умеренный порог.

Поскольку негативный тренд во времени нарастает (из-за засухи или распространения вредителей), распределение «размывается». Адаптивный порог гибко подстраивается под меняющуюся дисперсию значений вегетационных индексов и форму распределения конкретного периода. Это позволяет отделять естественный «фоновый шум» колебаний вегетации от реальных аномальных нарушений (вырубок, пожаров, усыхания древостоя).

Для детального понимания происходящих процессов важно определить не только общую тенденцию, но и пространственные масштабы и структуру изменений. Это позволяет локализовать наиболее уязвимые участки леса и выявить конкретные очаги деградации, скрытые внутри общих усредненных показателей. С этой целью классификация изменений ΔEVI с использованием рассчитанных порогов позволила оценить динамику состояния лесного фонда (табл. 3).

Анализ динамики распределения площадей по категориям состояния (табл. 3) подтверждает резкую деградацию растительного покрова Животиновского участкового лесничества. За пятилетний период доля выделов со снижением индекса EVI выросла более чем в три раза: с 12,6% (2020-2022 гг.) до 40,7% (2020-2025 гг.). Напротив, доля насаждений с положительным трендом значений индексов вегетации катастрофически сократилась – с 27,7% до 2,5%. Доля стабильных выделов, достигнув пика в 2023 году (61,3%), к 2025 году снизилась до 56,7% за счет их трансформации в категорию умеренного ухудшения. К 2025 году выявлено 203 выдела критического снижения EVI (9,9% от общей выборки). В разрезе преобладающих пород наибольший объем нарушений приходится на дуб низкоствольный – 89 выделов (43,8%), осину – 42 (20,7%) и берёзу – 36 (17,7%).

По классам возраста критическому ухудшению состояния наиболее подвержены средневозрастные насаждения (III-IV классы) – 89 выделов (43,8%) и приростающие древостои – 51 выдел (25,1%); на долю молодняков пришлось 13,8% (28 выделов), спелых и перестойных – 17,2% (35 выделов).

Таблица 2. Сравнение качества аппроксимации распределений ΔEVI (AIC)

Table 2. Comparison of the quality of approximation of ΔEVI distributions (AIC)

Период	Нормальное	t-распределение Стьюдента	Коши	Смесь нормальных
2020-2022	-9998,2	-10208,2	-9713,4	-10154,3
2020-2023	-9356,8	-9534,9	-8999,5	-9343,9
2020-2025	-9286,3	-9529,9	-9020,2	-9496,1

Таблица 3. Распределение выделов по категориям изменения ΔEVI , шт. (%)Table 3. Distribution allocations by categories of ΔEVI change, pcs. (%)

Категория изменения	2020-2022 гг.	2020-2023 гг.	2020-2025 гг.
Критическое ухудшение	68 (3,3%)	169 (8,3%)	203 (9,9%)
	(K) = -0,042	(K) = -0,045	(K) = -0,052
Умеренное ухудшение	190 (9,3%)	405 (19,8%)	629 (30,8%)
	(Y) = -0,021	(Y) = -0,0225	(Y) = -0,026
Всего ухудшение	258 (12,6%)	574 (28,1%)	832 (40,7%)
Стабильное состояние	1219 (59,7%)	1252 (61,3%)	1158 (56,7%)
Умеренное улучшение	418 (20,5%)	161 (7,9%)	35 (1,7%)
	(Y) = 0,021	(Y) = 0,0225	(Y) = 0,026
Критическое улучшение	146 (7,2%)	54 (2,6%)	16 (0,8%)
	(K) = 0,042	(K) = 0,045	(K) = 0,052
Всего улучшение	564 (27,7%)	215 (10,5%)	51 (2,5%)

Пространственный анализ (рис. 2) показал, что участки с критическим ухудшением состояния растительности (красный цвет) формируют как крупные очаговые скопления в центральной и восточной частях Животиновского участкового лесничества Пригородного лесничества, так и фрагментированные мелкоконтурные выделения на западе. Подавляющая часть исследуемой

территории находится в зоне фоновых изменений (желтый цвет), что согласуется с ранее сделанным выводом о масштабном характере общеклиматического стресса.

Важно подчеркнуть, что снижение значений EVI может быть обусловлено не только деградационными процессами (повреждение болезнями и вредителями, пирогенное воздействие

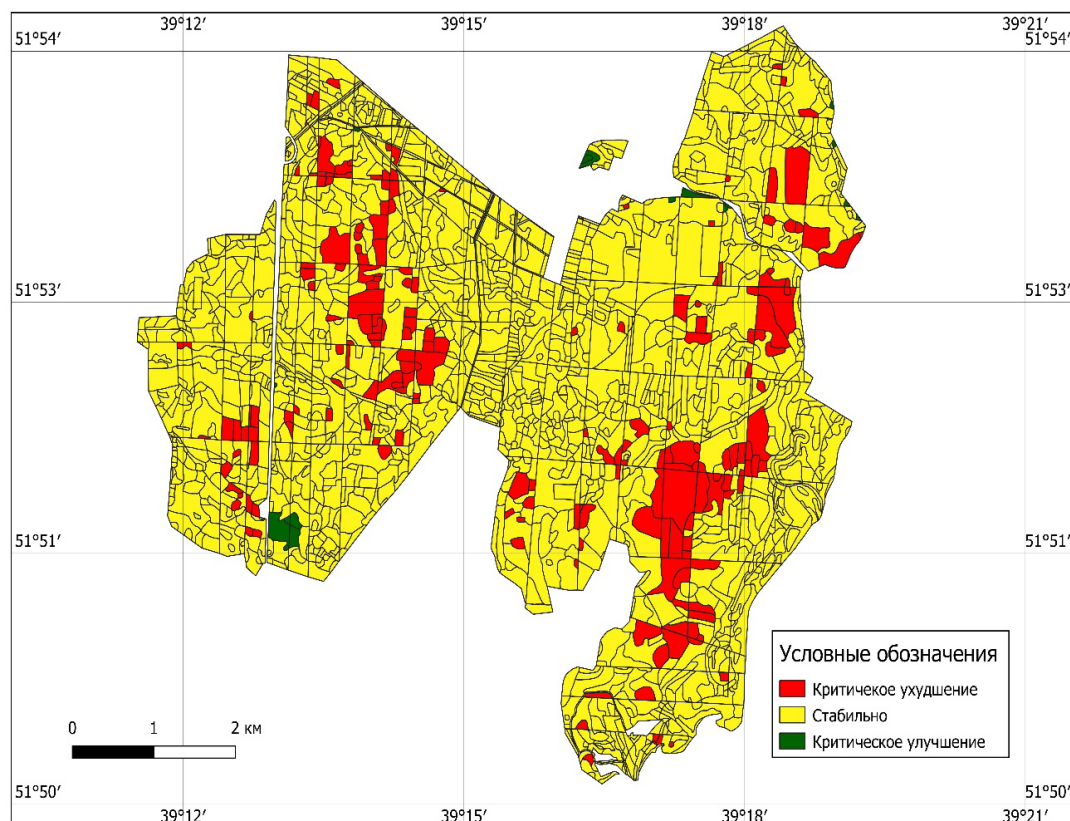


Рис. 2. Пространственное распределение участков с критическим изменением ΔEVI за период 2020-2025 гг. (красный – критическое ухудшение, зелёный – критическое улучшение, жёлтый – фоновые изменения)

Fig. 2. Spatial distribution of areas with critical changes in ΔEVI for the period 2020-2025 (red – critical deterioration, green – critical improvement, yellow – background changes)

и т.д.), но и плановыми лесохозяйственными мероприятиями – например рубками ухода, назначенными при лесоустройстве.

В рамках данного исследования мы выполнили верификацию результатов, полученных с использованием ДЗЗ по материалам натурного обследования. Из 203 участков с выявленным критическим снижением EVI, мы остановились на 5 выделах, требующих первоочередного натурного обследования – имеющих наибольшее изменение значения вегетационного индекса. При этом лесные участки, в которых за последние 5 лет были проведены рубки ухода исключались из анализа. Сравнение результатов натурного обследования (табл. 4) выполнено на основе материалов последнего лесоустройства территории Пригородного лесничества (2012 г), с учетом актуализации состояния и структуры лесных участков, проведенной авторами в 2019 г.

Результаты верификации показали, что все обследованные участки находятся в фазе активного распада древостоя или имеют высокую степень захламленности валежной древесины, что полностью коррелирует с зафиксированным снижением EVI.

Обсуждение. Разработанная методика, основанная на использовании t-распределения Стьюдента для определения адаптивных порогов EVI, подтверждает вывод о ненормальном распределении изменений индекса в лесных экосистемах, что согласуется с работами, указывающими на высокую вариабельность спутниковых данных [21]. Выявленное снижение среднего значения EVI подтверждают тенденции деградации лесов, отмеченные в исследованиях по мониторингу Sentinel-2 в схожих климатических условиях [22].

В отличие от классического подхода ($\mu \pm 2\sigma$), предложенный метод позволяет более точно отделить естественные изменения, происходящие в насаждениях от антропогенных или климатически обусловленных нарушений, что критически важно для выделов с низкой исходной биомассой [23]. Так, J. Qi (et al.) [24] подробно проанализировали ограничения классического порогового подхода ($\mu \pm 2\sigma$) при выявлении аномалий в динамике спектральных характеристик растительности. Авторы отметили, что такой способ даёт приемлемые результаты лишь при краткосрочном мониторинге, но приводит к ложным

Таблица 4. Верификация таксационных показателей древостоя на обследованных участках с критическим снижением индекса EVI на основе актуализированных материалов лесоустройства (Животиновское участковое лесничество Пригородное лесничество)

Table 4. Verification of forest stand taxation indicators in surveyed areas with a critical decrease in the EVI index based on updated forest management materials (Zhivotynovskoe district forestry Suburban forestry)

Квартал/выдел	Источник информации	Таксационные показатели древостоя				
		состав	полнота	запас сыр., м ³ /га	запас сух., м ³ /га	запас валежа, м ³ /га
22/18	материалы л/у*	4Яов3Днп2Лп1Кло	0,9	250	0	20
	натурное обслед.	6Лп4Кло+Днп	0,65	130	180	30
	Δ (абсолютное/%)		0,25/28	120/48	180/-	10/50
22/26	материалы л/у*	4Яов3Кло2Днп1Лп	0,6	180	10	0
	натурное обслед.	3Днп4Кло2Лп1Ос	0,5	150	70	20
	Δ (абсолютное/%)		0,1/17	30/17	60/700	20/-
22/30	материалы л/у*	3Днп3Яов2Кло2Лп	0,7	240	20	0
	натурное обслед.	4Днп3Кло3Лп	0,55	150	100	30
	Δ (абсолютное/%)		0,15/21	90/37	80/500	30/-
61/6	материалы л/у*	6Днп2Яов2Лп+Кло	0,7	250	20	30
	натурное обслед.	5Днп4Лп1Кло	0,65	210	60	50
	Δ (абсолютное/%)		0,05/7	40/16	40/300	20/67
68/29	материалы л/у	5Ос4Олч1Днп+Яов	0,5	190	0	10
	натурное обслед.	4Ос4Олч1Днп1Лп	0,4	140	50	40
	Δ (абсолютное/%)		0,1/20	50/26	50/-	30/400

* – материалы лесоустройства 2012 г, с актуализацией состояния насаждения, проведенной в 2019 г.

срабатываниям при длительных наблюдениях, поскольку не учитывает «тяжёлые хвосты» используемых моделей распределения и нелинейный характер шумов, возникающих из-за внешних факторов экосистемы. С аналогичными проблемами столкнулись и S. Miguel (et al.) [25]: применение классического подхода для оценки состояния лесов Испании привело к систематическим ошибкам при выделении участков деградации.

Полученные результаты указывают на высокую чувствительность установленных адаптивных пороговых значений к локальным изменениям, обеспечивая более точную оценку состояния лесного фонда по сравнению с традиционными методами. Использование индекса EVI в нашем исследовании позволило нивелировать влияние почвенного фона и атмосферной дымки. Это согласуется с методологическими подходами, предложенными при использовании данного индекса для долгосрочного анализа динамики антропогенно измененных ландшафтов [26] и высокоточного дешифрирования состояния древостоев [27].

В условиях климатического стресса (засухи) низкоствольные порослевые дубравы вследствие поражения хроническими болезнями (опенком, мучнистой росой и т.д.) подвержены усыханию, что, как показано в нашей работе, моментально отражается на EVI. Выявленная тенденция согласуется с результатами О.Н. Воробьева (с соавт.) [28], проводившими исследования в условиях Среднего Поволжья.

A.R. Ives (et al.) [29] в своих исследованиях пришли к выводу, что без учёта данных о лесохозяйственных мероприятиях и корректного анализа пространственно-временной автокорреляции, интерпретация изменений EVI может приводить к ложным данным о деградации насаждений. При этом, отмечается необходимость наземной верификации для разделения естественных и антропогенных причин изменений вегетационного индекса [30, 31].

Таким образом, полученные нами результаты не только согласуются с существующими научными данными, но и дополняют их, предлагая адаптированную методику для оперативного выявления деградирующих лесных участков с учётом региональных особенностей. При этом уникальность методики, ориентированной на повыдельную основу, сложно переоценить для принятия оперативных управленческих решений в лесном хозяйстве. Дальнейшее развитие методики предполагает интеграцию слоев фактических рубок и данных государственного лесного реестра для автоматического разделения антропогенных и деградационных нарушений.

Заключение

В результате проведенного исследования разработана и апробирована методика мониторинга лесных экосистем, основанная на анализе временных рядов EVI по спутниковым данным Sentinel-2 с использованием в качестве единицы анализа лесотаксационных выделов и применением адаптивных пороговых значений, рассчитанных на основе t-распределения Стьюдента.

Основные выводы:

1. Методическая новизна. Статистически доказано ($p < 0,001$, критерий AIC), что распределение изменений EVI в лесных экосистемах значительно отличается от нормального и наилучшим образом аппроксимируется t-распределением Стьюдента. Использование классического подхода ($\mu \pm 2\sigma$) приводит к систематическим ошибкам. Предложенный метод расчета адаптивных порогов обеспечивает более надежное выделение аномалий.

2. Динамика состояния лесного фонда. За период 2020-2025 гг. на исследуемой территории зафиксирована существенная трансформация лесной растительности. Среднее значение EVI снизилось с 0,3206 до 0,3009 (–6,1%). Доля участков с отрицательной динамикой возросла до 40,7%, тогда как доля участков с положительной динамикой сократилась до 2,5%.

3. Участки, требующие первоочередного внимания. Идентифицировано 203 участка критического снижения EVI (9,9% от общего количества выделов), которые должны быть обследованы в первую очередь. В их структуре преобладают дубовые низкоствольные насаждения (43,8%) и мягколиственные породы (38,4%), по возрасту доминируют средневозрастные насаждения (43,8%).

4. Снижение значений EVI может быть обусловлено как негативными процессами, так и плановой хозяйственной деятельностью (рубки ухода, санитарные рубки). В связи с этим проведена верификация полученных результатов на территории выделов с критическим ухудшением состояния по материалам натурного обследования. При уточнении причин изменения состояния выявлено, что все обследованные участки находятся в фазе активного распада древостоя, что полностью коррелирует с зафиксированным снижением EVI. Основные причины изменения индекса EVI при ухудшении состояния насаждений – снижение сомкнутости полога (полноты) древостоя; высокая степень захламленности лесного участка валежной древесиной; массовое усыхание насаждений и накопление запаса сухостоя.

5. Практические рекомендации. Для организации системы оперативного реагирования предлагается использовать адаптивные пороги (для 2025 г. – порог 0,048) с целью выявления выделов с критическим ухудшением состояния и оперативного назначения на них целевых лесохозяйственных мероприятий. Кроме того, следует внедрить ежегодное обновление цифровых карт

состояния растительности на основе предложенной методики.

Предложенный подход может быть рекомендован для интеграции в региональные системы экологического мониторинга как инструмент раннего выявления участков с аномальной динамикой, требующих наземного обследования.

Список использованных источников

1. Положение о лесном мониторинге № МГ-1-17-6/287 от 29.11.95 г. Федеральная служба лесного хозяйства России // <https://docs.cntd.ru/document/9017780>
2. Славский В.А., Матвеев С.М. Некоторые аспекты закладки пробных площадей при проведении государственной инвентаризации лесов // *Лесотехнический журнал*. 2021. Т. 11, № 1(41). С. 56-63. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/5
3. Živaljević B., Sutanto S.J., Paparrizos S., Mesaroš M., Mimić G. Within-season crop yield prediction in the Vojvodina Province (Serbia) using Sentinel-2 satellite vegetation indices // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2026. Volume 43. 102192. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2026.102192>
4. Son N.-T., Chen Ch.-F., Cheng Y.-S., Toscano P., Chen C., Chen Sh., Tseng K., Syu Ch.-H., Guo H.-Y., Zhang Yi. Field-scale rice yield prediction from Sentinel-2 monthly image composites using machine learning algorithms // *Ecological Informatics*. 2022. Volume 69, 101618. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101618>
5. Bueechi E., Reuß F., Píkl M., Homolova L., Lukas V., Trnka M., Dorigo W. Making optimal use of limited field-scale data for crop yield forecasting using transfer learning and Sentinel-1 and 2 data // *Smart Agricultural Technology*. 2025. Volume 12, 101567. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101567>
6. Черниковский Д.М. Оценка возможностей применения материалов спутниковой съемки Sentinel-2 для определения преобладающих древесных пород при таксации лесов // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2025. № 252. С. 188-210. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.188-210.
7. Барталев С.А., Лупян Е.А. Исследования и разработки ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2013. Т. 10, № 1. С. 197-214.
8. Ховратович Т.С., Барталев С.А., Кашницкий А.В. Возможности детектирования рубок леса на основе изменения оценок проективного покрытия леса по данным Landsat-OLI и Sentinel 2 // *Цифровые технологии в лесном секторе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 26-27 марта 2020 года / Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова*. Санкт-Петербург: 2020. С. 157-159.
9. Li Q., Zhang H., Gui J., Xu S., Shen Q., Lin S., Huang H. Decoupling of structural and functional forest recovery: heterogeneity in post-fire normalized difference vegetation index (NDVI) and net primary productivity (NPP) trajectories across China (2000-2015) // *Ecological Indicators*, Volume 183, 2026, 114684. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2026.114684>
10. Gitelson A.A. Wide Dynamic Range Vegetation Index for Remote Quantification of Biophysical Characteristics of Vegetation. // *Journal of Plant Physiology*. 2004. Volume 161, Issue 2, P. 165-173. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01176>
11. Martinez A. de la Iglesia, Labib S.M. Demystifying normalized difference vegetation index (NDVI) for greenness exposure assessments and policy interventions in urban greening. // *Environmental Research*. 2023. Volume 220, 115155. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115155>
12. Crespo-Antia J.P., Gazol A., Pizarro M. Matching Vegetation Indices and Tree Vigor in Pyrenean Silver Fir Stands

References

1. Regulations on forest monitoring No MG-1-17-6/287 of 29.11.95 Federal Forestry Service of Russia // <https://docs.cntd.ru/document/9017780>
2. Slavsky V.A., Matveev S.M. Some aspects of laying sample plots during the state inventory of forests. 2021. V. 11, No 1(41). P. 56-63. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/53.
3. Živaljević B., Sutanto S.J., Paparrizos S., Mesaroš M., Mimić G. Within-season crop yield prediction in the Vojvodina Province (Serbia) using Sentinel-2 satellite vegetation indices // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2026. Volume 43. 102192. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2026.102192>
4. Son N.-T., Chen Ch.-F., Cheng Y.-S., Toscano P., Chen C., Chen Sh., Tseng K., Syu Ch.-H., Guo H.-Y., Zhang Yi. Field-scale rice yield prediction from Sentinel-2 monthly image composites using machine learning algorithms // *Ecological Informatics*. 2022. Volume 69, 101618. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101618>
5. Bueechi E., Reuß F., Píkl M., Homolova L., Lukas V., Trnka M., Dorigo W. Making optimal use of limited field-scale data for crop yield forecasting using transfer learning and Sentinel-1 and 2 data // *Smart Agricultural Technology*. 2025. Volume 12, 101567. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101567>
6. Chernikhovskiy D.M. Assessment of the possibilities of using Sentinel-2 satellite imagery materials for determining the prevailing tree species in forest taxation // *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*. 2025. № 252. P. 188-210. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.188-210.
7. Bartalev S.A., Lupyan E.A. Research and development of the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences on the development of satellite monitoring methods of vegetation cover. 2013. V. 10, No 1. P. 197-214.
8. Khovratovich T.S., Bartalev S.A., Kashnitsky A.V. Possibilities of detecting logging based on changes in the estimates of projective forest coverage according to Landsat-OLI and Sentinel 2 // *Digital technologies in the forest sector: materials of the All-Russian scientific and technical conference, St. Petersburg, March 26-27, 2020 / S.M. Kirov St. Petersburg State Forest Technical University*. St. Petersburg: 2020. P. 157-159
9. Li Q., Zhang H., Gui J., Xu S., Shen Q., Lin S., Huang H. Decoupling of structural and functional forest recovery: heterogeneity in post-fire normalized difference vegetation index (NDVI) and net primary productivity (NPP) trajectories across China (2000-2015) // *Ecological Indicators*, Volume 183, 2026, 114684. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2026.114684>
10. Gitelson A.A. Wide Dynamic Range Vegetation Index for Remote Quantification of Biophysical Characteristics of Vegetation. // *Journal of Plant Physiology*. 2004. Volume 161, Issue 2, P. 165-173. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01176>
11. Martinez A. de la Iglesia, Labib S.M. Demystifying normalized difference vegetation index (NDVI) for greenness exposure assessments and policy interventions in urban greening. // *Environmental Research*. 2023. Volume 220, 115155. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115155>
12. Crespo-Antia J.P., Gazol A., Pizarro M. Matching Vegetation Indices and Tree Vigor in Pyrenean Silver Fir Stands // *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, No. 23. Art. 4564. DOI: 10.3390/rs16234564.

// Remote Sensing. 2024. Vol. 16, No. 23. Art. 4564. DOI: 10.3390/rs16234564

13. Miura T., Huete A.R., Yoshioka H., Holben B.N. An error and sensitivity analysis of atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric correction // Remote Sensing of Environment. 2001. Vol. 78, No. 3. P. 284-298. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00223-1.

14. Verbesselt J., Hyndman R., Newnham G., Culvenor D. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series // Remote Sensing of Environment. 2010. Vol. 114, No. 1. P. 106-115. DOI: 10.1016/j.rse.2009.08.014

15. Тарасов А.В., Шихов А.Н., Шабалина Т.В. Распознавание нарушений лесного покрова по спутниковым снимкам Sentinel-2 с помощью сверточных нейронных сетей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021, Т. 18, № 3. С. 51-64. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-51-64.

16. Virtanen P., Gommers R., Oliphant T.E., et al. SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python // Nature Methods. 2020. Vol. 17, No. 3. P. 261-272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2.

17. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A., et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python // Journal of Machine Learning Research. 2011. Vol. 12. P. 2825-2830.

18. Royston P.J. An extension of Shapiro-Wilk's W-test to skewed distributions // Biometrika. 1982. Vol. 69, No. 2, P. 427-430.

19. Araújo M.L.T.M., Silva R.M.S., Santos J.M.C. Model selection and model misspecification in time series: The case of heavy-tailed distributions // Journal of Time Series Analysis. 2017, 38(3), P. 417-438.

20. Shapiro S.S., Wilk M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples) // Biometrika. 1965. Vol. 52, No. 3/4. P. 591-611. DOI: 10.2307/2333709

21. Pelc-Mieczkowska R. The Application of Sentinel-2 Data for Automatic Forest Cover Changes Assessment – Białowieża Primeval Forest Case Study // Civil and Environmental Engineering Reports. 2021. Vol. 31, No. 4. P. 148-166. DOI: 10.2478/ceer-2021-0054

22. Wu L., Liu X., Liu M., Zhou B. Online Forest Disturbance Detection at the Sub-Annual Scale Using Spatial Context From Sparse Landsat Time Series // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2022. Vol. 60. P. 1-14. Art. No. 4501214. DOI: 10.1109/TGRS.2022.3145675

23. Chen C., Xu Y., Zhang T., Jiang C. Detection of Forest Disturbances with Different Intensities Using Landsat/Sentinel Time Series Based on Adaptive Charts // Forests. 2023. Vol. 15, No. 1. Article 19. DOI: 10.3390/f15010019

24. Qi J., Chehbouni A., Huete A.R., Kerr Y.H., Soerooshian S. A modified soil adjusted vegetation index // Remote Sensing of Environment. 1994. Vol. 48, No. 2. P. 119-126. DOI: 10.1016/0034-4257(94)90134-1.

25. Miguel S., Ruiz-Benito P., Rebollo P., Viana-Soto A., Mihai M.C., García-Martín A., Tanase M. Forest disturbance regimes and trends in continental Spain (1985-2023) using dense Landsat time series // Environmental Research. 2024. Vol. 262. Article 119802. DOI: 10.1016/j.envres.2024.119802.

26. Иванов М.А., Гафуров А.М. Анализ изменений землепользования в Среднем Поволжье по данным Landsat для оценки потенциала возврата заброшенных пахотных земель в сельскохозяйственный оборот // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22, № 2., С. 186-201. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-186-201.

27. Пушкин А.А., Сидельник Н.Я., Ковалевский С.В. Оценка возможностей использования спектрального вегетационного индекса EVI для дешифрирования лесных насаждений по материалам космической съемки // Труды БГТУ.

13. Miura T., Huete A.R., Yoshioka H., Holben B.N. An error and sensitivity analysis of atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric correction // Remote Sensing of Environment. 2001. Vol. 78, No. 3. P. 284-298. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00223-1.

14. Verbesselt J., Hyndman R., Newnham G., Culvenor D. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series // Remote Sensing of Environment. 2010. Vol. 114, No. 1. P. 106-115. DOI: 10.1016/j.rse.2009.08.014

15. Tarasov A.V., Shikhov A.N., Shabalina T.V. Recognition of forest cover disturbances from Sentinel-2 satellite images using convolutional neural networks // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2021. Т. 18, No 3. P. 51-64. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-51-64.

16. Virtanen P., Gommers R., Oliphant T.E., et al. SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python // Nature Methods. 2020. Vol. 17, No. 3. P. 261-272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2.

17. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A., et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python // Journal of Machine Learning Research. 2011. Vol. 12. P. 2825-2830.

18. Royston P.J. An extension of Shapiro-Wilk's W-test to skewed distributions // Biometrika. 1982. Vol. 69, No. 2, P. 427-430.

19. Araújo M.L.T.M., Silva R.M.S., Santos J.M.C. Model selection and model misspecification in time series: The case of heavy-tailed distributions // Journal of Time Series Analysis. 2017, 38(3), P. 417-438.

20. Shapiro S.S., Wilk M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples) // Biometrika. 1965. Vol. 52, No. 3/4. P. 591-611. DOI: 10.2307/2333709

21. Pelc-Mieczkowska R. The Application of Sentinel-2 Data for Automatic Forest Cover Changes Assessment – Białowieża Primeval Forest Case Study // Civil and Environmental Engineering Reports. 2021. Vol. 31, No. 4. P. 148-166. DOI: 10.2478/ceer-2021-0054

22. Wu L., Liu X., Liu M., Zhou B. Online Forest Disturbance Detection at the Sub-Annual Scale Using Spatial Context From Sparse Landsat Time Series // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2022. Vol. 60. P. 1-14. Art. No. 4501214. DOI: 10.1109/TGRS.2022.3145675

23. Chen C., Xu Y., Zhang T., Jiang C. Detection of Forest Disturbances with Different Intensities Using Landsat/Sentinel Time Series Based on Adaptive Charts // Forests. 2023. Vol. 15, No. 1. Article 19. DOI: 10.3390/f15010019

24. Qi J., Chehbouni A., Huete A.R., Kerr Y.H., Soerooshian S. A modified soil adjusted vegetation index // Remote Sensing of Environment. 1994. Vol. 48, No. 2. P. 119-126. DOI: 10.1016/0034-4257(94)90134-1.

25. Miguel S., Ruiz-Benito P., Rebollo P., Viana-Soto A., Mihai M.C., García-Martín A., Tanase M. Forest disturbance regimes and trends in continental Spain (1985-2023) using dense Landsat time series // Environmental Research. 2024. Vol. 262. Article 119802. DOI: 10.1016/j.envres.2024.119802.

26. Ivanov M.M., Petrov A.A., Sidorov V.V. Analysis of land use changes in the Middle Volga region according to Landsat data for assessing the potential of the return of abandoned arable lands to agricultural circulation. 2025. Т. 22, № 2., С. 186-201. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-186-201.

27. Pushkin A.A., Sidelnik N.Ya., Kovalevsky S.V. Assessment of the possibilities of using the spectral vegetation index EVI for deciphering forest plantations based on space imagery. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources. 2020. No 1, P. 5-10

28. Vorobyov O.N., Kurbanov E.A., Sha D., Lezhnin S.A., Van D., Dregunov D.M. Monitoring and forecast of the dynamics of the ground cover of the Middle Volga region based on satellite

Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2020. № 1, С. 5-10.

28. Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Ша Д., Лежнин С.А., Ван Д., Дрегунов Д.М. Мониторинг и прогноз динамики наземного покрова Среднего Поволжья по спутниковым данным в QGIS MOLUSCE // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 5. С. 176-193. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-176-193

29. Ives A.R., Zhu L., Wang F., Zhu J., Morrow C.J., Radeloff V.C. Statistical inference for trends in spatiotemporal data // Remote Sensing of Environment. 2021. Vol. 266. Article 112678. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112678.

30. Алексеев А.С., Черниковский Д.М. Выявление повреждений хвойных насаждений на основе комплексного анализа результатов дистанционного зондирования Земли и наземных обследований // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 2, С. 11-28. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-11-28.

31. Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Лежнин С.А., Губаев А.В., Дрегунов Д.М., Тарасова Д.В. Пространственно-временной анализ лесного покрова Средней Волги с использованием ландшафтных индексов и данных спутника Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 1. С. 144-159. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-144-159

32. Johnson A., Brown B., Davis C. Forest age structure and vegetation index dynamics under climate stress: a multi-site analysis // Remote Sensing of Environment. 2021. Vol. 265. Article 112678. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112678.

33. Иванов А.В., Смирнов П.Л., Козлов Д.Е. Динамика вегетационных индексов в лесах Центральной России (2018-2023 гг.): анализ по данным Sentinel-2 // Лесоведение. 2023. № 4. С. 45-58.

34. Петров Н.С., Васильева М.К., Новиков А.А. Оценка деградации лесных экосистем Среднего Поволжья на основе временных рядов EVI // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 2. С. 112-125.

data in QGIS MOLUSCE. 2023. Т. 20, No 5. P. 176-193. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-176-193

29. Ives A.R., Zhu L., Wang F., Zhu J., Morrow C.J., Radeloff V.C. Statistical inference for trends in spatiotemporal data // Remote Sensing of Environment. 2021. Vol. 266. Article 112678. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112678

30. Alekseev A.S., Chernikhovsky D.M. Identification of damage to coniferous plantations based on a comprehensive analysis of the results of remote sensing of the Earth and ground surveys. Forest Journal. 2024. No 2, P. 11-28. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-11-28.

31. Vorobyov O.N., Kurbanov E.A., Lezhnin S.A., Gubaev A.V., Dregunov D.M., Tarasova D.V. Spatial-temporal analysis of the forest cover of the Middle Volga using landscape indices and data of the Landsat satellite. 2023. V. 20, No 1. P. 144-159. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-144-159

32. Johnson A., Brown B., Davis C. Forest age structure and vegetation index dynamics under climate stress: a multi-site analysis // Remote Sensing of Environment. 2021. Vol. 265. Article 112678. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112678.

33. Ivanov A.V., Smirnov P.L., Kozlov D.E. Dynamics of vegetation indices in the forests of Central Russia (2018-2023): analysis based on Sentinel 2 data. 2023. № 4. P. 45-58.

34. Petrov N.S., Vasilyeva M.K., Novikov A.A. Assessment of degradation of forest ecosystems of the Middle Volga region on the basis of EVI time series. 2024. V. 21, No 2. P. 112-125.

Информация об авторах

Алексей Викторович Мироненко, канд. сельхоз. наук, доцент кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ORCID: 0000-0002-9701-3822; РИНЦ ID: 159531; alexeymironenko66@gmail.com

Василий Александрович Славский, докт. сельхоз. наук, профессор кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ORCID: 0000-0002-6579-0344; РИНЦ ID: 437732; slavskiyva@yandex.ru

Дарья Андреевна Литовченко, канд. биолог. наук, доцент кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ORCID: 0000-0003-2973-7447; Scopus: 57192711518; РИНЦ ID: 745766; WOS Research ID: T-9721-2019; timashchuk90@mail.ru.

Information about the authors

Alexey V. Mironenko, Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry, Forest Inventory and Forest Management, ORCID: 0000-0002-9701-3822; РИНЦ ID: 159531; alexeymironenko66@gmail.com.

Vasiliy A. Slavskiy, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forestry, Forest Inventory and Forest Management, ORCID: 0000-0002-6579-0344; РИНЦ ID: 437732; slavskiyva@yandex.ru

Daria A. Litovchenko, Ph.D. biologist. Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry, Forest Taxation and Forest Management, ORCID: 0000-0003-2973-7447; Scopus: 57192711518; РИНЦ ID: 745766; WOS Research ID: T-9721-2019; timashchuk90@mail.ru

Критерии авторства /

Мироненко А.В., Славский В.А., Литовченко Д.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Мироненко А.В., Славский В.А., Литовченко Д.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors claim no conflict of interests

Поступила в редакцию / Received 04.08.2026

Одобрена после рецензирования / Approved 15.09.2026

Принята к публикации / Accepted 20.09.2026

Criteria of authorship

Mironenko A.V., Slavsky V.A., Litovchenko D.A. performed practical and theoretical research, on the basis of which they summarized and wrote a manuscript.

Mironenko A.V., Slavsky V.A., Litovchenko D.A. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.