

Научная статья

УДК 630*587+630*231.1(470.41)

DOI 10.48012/1817-5457_2026_2_35-47

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИКИ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Гибадуллин Нурсиль Фоатович^{1✉}, Мусин Харис Гайнутдинович²,
Ларионов Артем Дмитриевич³, Романов Никита Олегович⁴, Вагизов Марсель Равильевич⁵

^{1,2}ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, Казань, Россия

^{3,4}ФГБОУ ВО «СПбГЛТУ им. С. М. Кирова», Санкт-Петербург, Россия

⁵ФГБОУ ВО «РГГМУ», Санкт-Петербург, Россия

¹nursil.gibadullin@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью отслеживать пространственно-временные изменения растительного покрова, которые оказывают существенное влияние на состояние экосистем, биоразнообразие и эффективность хозяйственного использования земель. Цель исследования – применение геоинформационных систем и методов дистанционного зондирования Земли для мониторинга динамики зарастания территорий древесно-кустарниковой растительностью. В работе рассматривается методика анализа состояния растительности на примере Республики Татарстан за период 2013–2021 гг. с использованием открытых спутниковых данных Landsat 8. Для обработки данных дистанционного зондирования было определено 5 участков в Лаишевском, Приволжском, Высокогорском и Пестречинском районах, которые отличались по своим характеристикам и составу насаждений. Ключевым инструментом является нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), количественная оценка и визуализация которого осуществляется с помощью программного обеспечения QGIS. Рассчитанные значения NDVI и построенные временные ряды позволили выявить пространственно-временные особенности зарастания на исследуемых участках. Анализ динамики показал, что на большинстве участков наблюдается снижение площади территорий с NDVI > 0,3, что свидетельствует о сокращении плотности растительного покрова. Исключением стал участок в Высокогорском районе (с. Березка), где индекс NDVI демонстрировал устойчивый рост. Максимальные значения NDVI для большинства участков приходились на период 2018–2020 гг., что может быть связано с благоприятными климатическими условиями, а также проведением лесохозяйственных мероприятий. Построенные временные ряды и визуализация с помощью инструмента Timelapse в QGIS показали высокую информативность метода для отслеживания пространственно-временных изменений. Полученные результаты геоинформационного моделирования имеют прикладное значение для экологического контроля, рационального природопользования, агро- и лесоводства, способствуя разработке эффективных мер по сохранению биоразнообразия и повышению продуктивности земель в условиях цифровизации и трансформации экосистем.

Ключевые слова: геоинформационные системы, динамика растительности, зарастание земель, мониторинг, рациональное природопользование, Landsat 8, NDVI, QGIS.

Для цитирования: Оценка изменения динамики лесовосстановления на основе данных дистанционного зондирования Земли на территории Республики Татарстан / Н. Ф. Гибадуллин, Х. Г. Мусин, А. Д. Ларионов [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2026. № 2(86). С. 35-47. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2026_2_35-47.

Актуальность исследования. Мониторинг зарастания территорий представляет собой важное направление в области экологического контроля, рационального природопользования и устойчивого развития регионов. В условиях роста антропогенной нагрузки, изменения климата и активного использования земельных ресурсов наблюдается трансформация экосистем, выражающаяся в изменении состава и плотно-

сти растительности. Своевременное выявление и анализ этих процессов позволяют разрабатывать эффективные меры по сохранению биоразнообразия и повышению продуктивности земельных угодий.

Зарастание сельскохозяйственных угодий лесной и кустарниковой растительностью затрудняет их использование, снижает урожайность и требует дополнительных затрат

на рекультивацию. Для лесного фонда зарастание имеет двойственный эффект: с одной стороны, оно способствует естественному лесовосстановлению, а с другой – осложняет лесохозяйственные мероприятия и ведение управленческого учета.

В условиях цифровизации аграрного и лесного хозяйства возрастает потребность в современных методах оценки состояния земельных ресурсов. Геоинформационные технологии и данные дистанционного зондирования Земли обеспечивают возможность оперативного и масштабного анализа изменений растительности в динамике. Применение нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) позволяет количественно оценить степень зарастания и выявлять долгосрочные тенденции в развитии ландшафтов.

Актуальность исследования определяется необходимостью разработки и внедрения современных методик дистанционного зондирования для обеспечения комплексной оценки динамики зарастания территорий и возможности прогнозирования данных процессов. Полученные результаты имеют прикладное значение для органов государственного управления, лесного хозяйства, сельскохозяйственных предприятий и экологических служб. На сегодняшний день в Республике Татарстан вопрос мониторинга лесовосстановительных процессов имеет существенное значение, основная задача – повышение лесистости территории и борьба с эрозией овражно-балочных систем.

Современные тенденции развития информационных технологий способствуют активному внедрению геоинформационных систем (ГИС) в сферу экологического мониторинга и управления природными ресурсами. Одной из приоритетных задач в данной области является наблюдение за динамикой растительного покрова территорий, поскольку данный показатель оказывает значительное влияние на состояние экосистем, биоразнообразие, а также на эффективность хозяйственного использования земель.

Зарастание территорий древесно-кустарниковой растительностью может иметь как положительные, так и отрицательные последствия. С одной стороны, увеличение площади лесных массивов способствует улучшению углеродного баланса и повышению устойчивости экосистем. С другой стороны, зарастание сельскохозяйственных угодий и открытых территорий приводит к снижению их продуктивности, нарушению ландшафтной структуры и возникновению

трудностей в использовании сельскохозяйственных земель.

В связи с этим актуальным становится регулярное наблюдение, позволяющее выявлять пространственно-временные изменения растительности и прогнозировать дальнейшее развитие процессов зарастания на интересующих землях.

Цель исследования – применение геоинформационных систем и методов дистанционного зондирования Земли для мониторинга динамики зарастания территорий древесно-кустарниковой растительностью.

Традиционные методы полевого изучения, несмотря на их точность, обладают существенными ограничениями, связанными с высокой трудоемкостью, затратностью и невозможностью охвата больших площадей. В качестве альтернативы широко применяются методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), обеспечивающие оперативное получение данных о состоянии растительности. Одним из наиболее распространенных инструментов анализа в данном контексте является индекс NDVI, позволяющий количественно оценивать интенсивность фотосинтеза для определенной области.

Татарстан считается одним из передовых регионов России по внедрению современных технологий восстановления леса [2, 10]. В представленной работе рассматривается применение методов дистанционного зондирования для исследования динамики зарастания земель на территории республики на основе данных снимков, сделанных спутником Landsat 8, за период 2013–2021 гг. Использование открытых данных дистанционного зондирования в сочетании с инструментами QGIS позволяет проводить количественную оценку по спектральному индексу NDVI, а также позволит визуализировать пространственно-временные изменения процессов лесовосстановления в динамике. Данное исследование направлено на анализ мониторинга территории лесовосстановления, а также выработку методики применения инструментов ГИС-технологий на основе материалов дистанционного зондирования Земли.

Объекты исследования. На территории Республики Татарстан были выделены опытные участки, на основе которых проводились как полевые, так и дешифровочные работы. Республика Татарстан – это субъект Российской Федерации, входящий в состав Приволжского федерального округа. Леса покрывают около 17 % территории региона (примерно 1,2 млн га).

Основные лесообразующие породы: хвойные, лиственные, кустарниковые, на территории республики ведутся активные лесовосстановительные работы [6]. В данной работе были выбраны 5 опытных участков в рамках которых проводилось исследование.

Первые два опытных участка относятся к Лаишевскому району. На этой территории ведутся активные работы по расчищению озера и созданию столбищ. Во втором участке, расположенном в Матюшинском лесничестве, преобладают смешанные леса с участием сосны, а также сосновые боры.

Третий опытный участок также относится к Лаишевскому району, северо-западнее с. Песчаные Ковали.

Четвертый опытный участок – это Высокогорский район. В рамках данного района леса занимают около 42 %. В районе произрастают хвойные и широколиственные леса, включая ель, сосну, липу и березу.

Пятый опытный участок находится на территории Пестречинского района, который характеризуется наличием лесных массивов, занимающих значительную часть его территории. Леса района представлены как хвойными, так и лиственными породами, а также сочетанием твердолиственных и мягколиственных пород.

Изначально в обработке данных предполагалось 7 участков. Шестой и седьмой опытные участки были расположены на территории Бугульминского района, близ с. Петровка. Бугульминский район расположен на юго-востоке Татарстана, на границе в лесостепной зоне. Леса занимают около 20 % территории района и представлены в основном лиственными породами, такими как липа, береза, осина, а также дуб и вяз. Крупные лесные массивы сосредоточены на водоразделах между реками Степной Зай и Бугульминский Зай, а также по левому берегу р. Сула. Однако ввиду отсутствия качественных

данных дистанционного зондирования Земли, а также перекрытия облачностью в даты съемки они были исключены для проведения опытов в программе QGIS и остались только в качестве полевых исследований.

В итоге для обработки данных ДЗЗ было определено 5 участков, которые отличались по своим характеристикам и составу насаждений. Границы опытных участков определялись дешифровочным методом и на основе публичных кадастровых карт. Характеристики рассматриваемых участков представлены в таблице 1. Границы участков 1-3 представлены на рисунке 1.

Таблица 1 – Характеристики участков для анализа лесовосстановления

№ участка	Район	Лесничество	Характеристики выдела
1	Лаишевский	Матюшинское	Естественные насаждения Сосняк 80 лет
2	Лаишевский	Матюшинское	Лесные культуры 55 лет
3	Приволжский	Столбищенское	Естественные насаждения 10-15 лет
4	Высокогорский	Высокогорское	Естественные насаждения 15 лет
5	Пестречинский	Пестречинское	Лесные культуры склоновые 11 лет

Общая характеристика климата на территории Республики Татарстан в период наблюдений 2013-2021 гг. Общая тенденция: преобладает потепление (особенно в холодный сезон) – зима и весна стали теплее, сокращается число сильных морозов и длительность снежного покрова. Среднегодовая температура: наблюдалось устойчивое повышение по ряду показате-

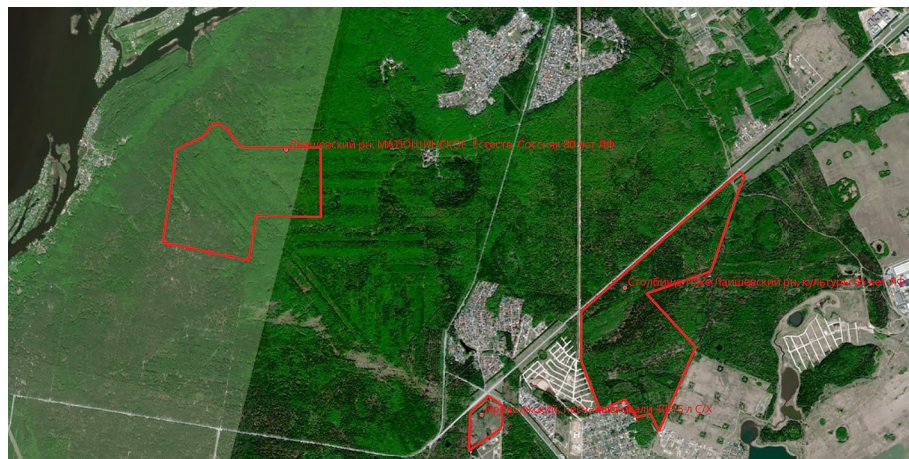


Рисунок 1 – Границы нанесенных на спутниковую основу опытных участков 1-3 (возле населенных пунктов: Матюшинское, Столбище, Песчаные Ковали). Снимок со спутника Landsat-8

лей (годовые и сезонные средние), с годовой вариативностью и аномалиями [1].

Осадки: общая миграция к большей межгодовой изменчивости – в некоторые годы суммарные осадки были выше климатической нормы, в другие – заметный дефицит; участились эпизоды интенсивных осадков (ливни), повышающих риск локальных подтоплений. Экстремы: рост частоты и интенсивности тепловых аномалий и отдельных засушливых периодов; также резкие колебания температуры (быстрая оттепель/заморозки) в переходные сезоны [3].

В представленных таблицах 2-5 приведены таксационные характеристики лесных участков, расположенных в разных районах и отличающихся по типу насаждений (культуры на старопахотной почве, естественное возобновление, противозерозионные культуры).

Таблица 2 – Культуры на старопахотной почве (Столбищенское лесн-во, Матюшинское поселение)

А ср, лет	Нср, м	Дср, см	Полнота относительная	Общий запас, м³
С	С	С	С	
ПП-1				
55	19,1	20	0,8	255
ПП-2				
55	20,1	22	0,8	260

Таблица 3 – Таксационные характеристики естественного возобновления сосны и березы на постагрогенных землях (Столбищенское лесн-во, Приволжский р-н). Естественные насаждения 10-15 лет

А ср, лет		Нср, м		Дср, см		Густота, тыс. экз./ га		Общий запас, м³
С	Б	С	Б	С	Б	С	Б	
ПП-1								
11	11	2,8	4,6	10	6,1	5,1	0,1	44
ПП-2								
12	11	3,2	4,1	8,8	5,6	4,2	0,1	40

По данным таблиц 2-5 в культурах на старопахотных почвах формируются высокополнотные и продуктивные древостои. Естественное возобновление на постагрогенных землях характеризуется преобладанием сосны, береза встречается реже и в меньшем количестве. В противозерозионных культурах сосна успешно приживается на склонах, береза отсутствует.

В рамках работы использовались методы дистанционного зондирования Земли на основе снимков со спутника Landsat 8, схожие методы

обработки данных использовались в работах ученых [4, 18].

Таблица 4 – Таксационные характеристики естественного возобновления сосны и березы на постагрогенных землях (Высокогорский р-н)

А ср, лет		Нср, м		Дср, см		Густота, тыс. шт./ га		Общий запас, м³
С	Б	С	Б	С	Б	С	Б	
ПП-1								
12	11	4,2	5,1	4,2	6,1	6,8	0,3	82
ПП-2								
12	11	4,6	4,5	4,8	5,6	5,2	0,2	61

Таблица 5 – Склоновые противозерозионные культуры на бывшей пашне (Шигалеевское поселение, Пестречинский р-н)

А ср, лет		Нср, м		Дср, см		Густота, тыс. шт./ га		Общий запас, м³
С	Б	С	Б	С	Б	С	Б	
ПП-1								
10	-	3,5	-	4,4	-	3,5	-	37
ПП-2								
10	-	36	-	4.6	-	3.6	-	39

Исследование проводилось в несколько этапов, включающих подготовку данных, их обработку и интерпретацию результатов. В качестве основных геопространственных материалов использовались:

– спутниковые снимки Landsat 8–9 (уровень обработки Collection 2, Level 2), полученные из открытого картографического сервиса USGS Earth Explorer [12, 16]. Пространственное разрешение снимков составляет 30 м, что является достаточным для анализа средних и крупных ландшафтных объектов;

– кадастровые данные из открытых реестров (публичная кадастровая карта) [8], использованные для уточнения границ исследуемых участков;

– геоинформационная система QGIS [15], применяемая для визуализации картографических материалов, пространственного анализа и построения временных рядов.

Методика исследования. На основе кадастровых данных были выделены пять участков на территории Республики Татарстан. Для каждого участка были загружены снимки Landsat за период 2013–2021 гг. Учитывались изображения с минимальной облачностью (<30 %) и сопоставимыми временными интервалами (в пре-

делах одного месяца). Подбор данных дистанционного зондирования Земли осуществлялся в программе Earth Explorer, где были получены серии спутниковых снимков (рис. 2).

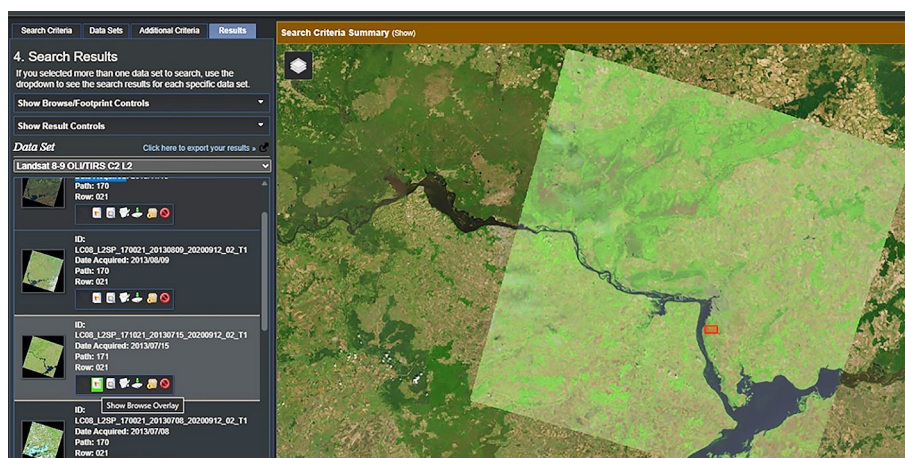


Рисунок 2 – Предпросмотр снимка

Диапазон дат учитывался за летний период, выбирались максимально близкие дни наблюдений за один календарный месяц при отсутствии облачности и перекрытий на снимках (преимущественно 20-е числа июня или первые дни нового месяца). Пробные площади на опытных участках закладывались по лесоводственно-таксационным методикам (ОСТ 56-69-83).

Сущность метода заключается в закладке круговых учетных площадок размером 10 м² (радиус 1,78 м) равномерно по участку без предварительной разметки маршрутных ходов и центров учетных площадок [9]. Предварительная разметка учетных ходов и центров учетных площадок не проводилась, так как количество учетных площадок обеспечивало требуемую точность работ и достоверность результатов.

Расчет по спектральному индексу NDVI [14] и предлагаемому алгоритму работы описан в работе [13]. В среде QGIS с использованием инструмента Raster Calculator вычислялся нормализованный разностный вегетационный индекс по формуле:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red),$$

где NIR – значение ближнего инфракрасного диапазона (Band 5); Red – красный диапазон (Band 4).

На основе порогового значения $NDVI > 0,3$ формировались бинарные маски растительного покрова, что позволило отделить площади с выраженной растительностью от деградированных или открытых территорий. Полученные

снимки накладывались поверх существующей спутниковой подложки для представления расположения участков, цветность снимка выключена (рис. 3).

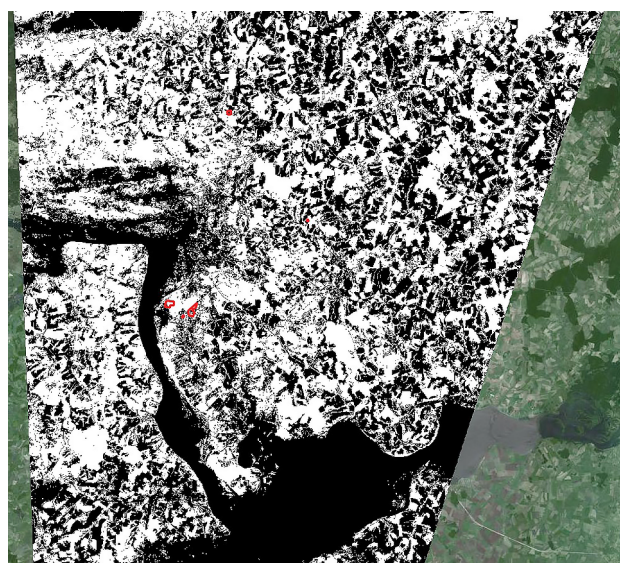


Рисунок 3 – Полученный снимок с отмеченными для исследования участками (указаны красным цветом) и создание бинарной маски на 2013 г.

Примечательно, что в работах авторов [11, 18] используются схожие по принципу обработки и анализу подходы не только для оценки состояния растительности, но и деградации почв и земель в глобальных масштабах, что позволяет использовать существующие подходы применительно к крупным географическим образованиям. Однако в работе [4] отмечается возможность получения локальных материалов аэрофотосъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов. В нашем исследовании использовались крупномасштабные спутниковые снимки, на которых формировались бинарные маски на период с 2013 по 2021 г. (рис. 4).

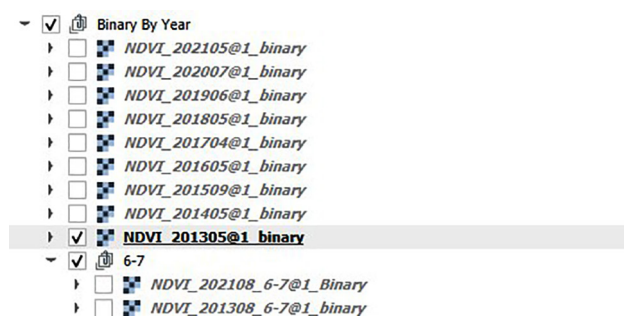


Рисунок 4 – Все созданные бинарные маски

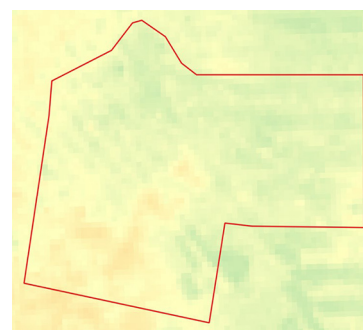
С помощью инструмента Zonal Statistics в QGIS определялась площадь территорий с $NDVI > 0,3$. Результаты нормировались по площади пикселя (900 м^2) и переводились в гектары. Результаты расчетов индекса NDVI приведены в таблице 6.

Полученные значения были сведены в таблицы и временные ряды, что позволило отследить пространственно-временные тенденции зарастания. Также приведены графики индексов NDVI для территорий. Полученные снимки оценивались между крайними значениями за 2013 и 2021 гг., что представлено на рисунках 5 и 6.

Аналогичным образом проводился сравнительный анализ на других участках. После чего были сформированы графики динамики изменения индекса NDVI за 8 лет с 2013 по 2021 г., где индекс NDVI превышал значения $0,3$ (рис. 7-11).

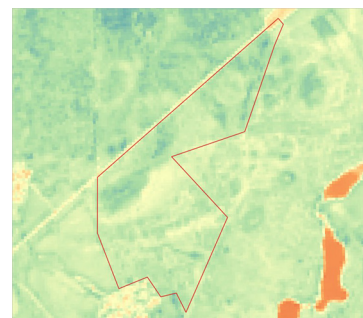


а

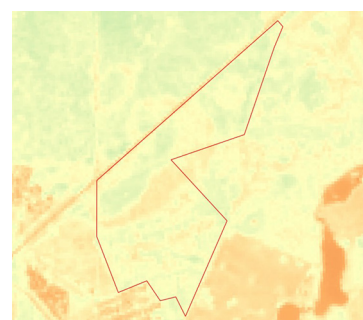


б

Рисунок 5 – Сравнение участков (участок № 1. Лайшевский р-н, Матюшинское): а – 2013 г., б – 2021 г.



а



б

Рисунок 6 – Сравнение участков (участок № 2. Лайшевский р-н, Столбище): а – 2013 г., б – 2021 г.

Таблица 6 – Динамика площади территорий участков с NDVI больше $0,3$

№ участка	Годы								
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	188,19	188,55	82,26	167,40	58,32	192,96	207,09	211,95	177,3
2	188,82	189,54	99,90	123,21	205,38	197,82	218,16	231,93	175,05
3	8,730	4,59	0,990	1,71	0,45	9,72	14,85	9,270	0,16
4	3,870	1,17	1,170	7,38	0,00	27,72	65,00	64,89	9,09
5	0,990	8,91	0,180	1,98	0,00	2,52	9,36	9,63	0,54

Исследуя график динамики индекса NDVI для участка № 1 (рис. 7), можно выделить два больших спада в 2015 и 2017 гг.

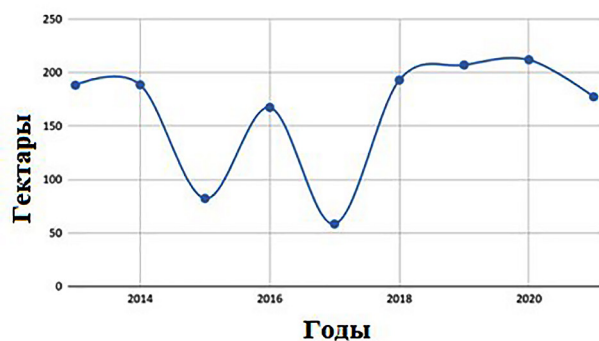


Рисунок 7 – Динамика индекса NDVI для участка № 1 (Лаишевский р-н, Матюшинское)

Исследуя график динамики индекса NDVI для участка № 2 (рис. 8), можно отметить рост индекса в период с 2016 по 2020 г.

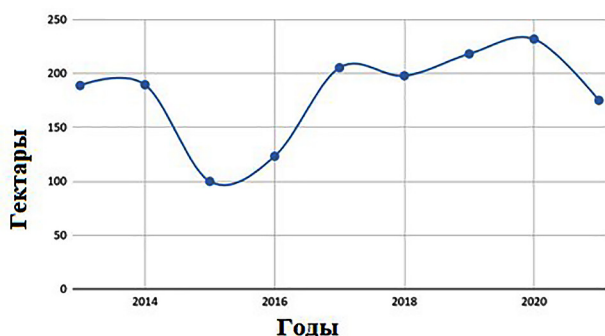


Рисунок 8 – Динамика индекса NDVI для участка № 2 (Столбище, Лаишевский р-н)

Исследуя график динамики индекса NDVI для участка № 3 (рис. 9), можно отметить резкий рост индекса в 2019 г.

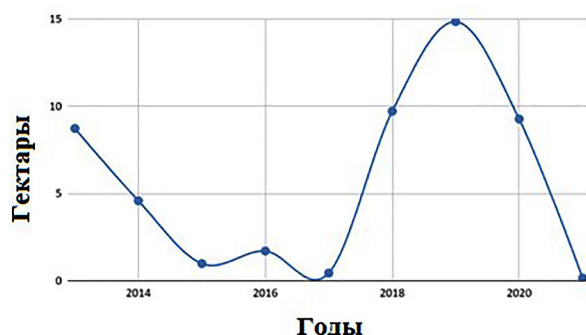


Рисунок 9 – Динамика индекса NDVI для участка № 3 (Приволжский)

Исследуя график динамики индекса NDVI для участка № 4 (рис. 10), можно отметить резкий рост индекса в 2019 г.

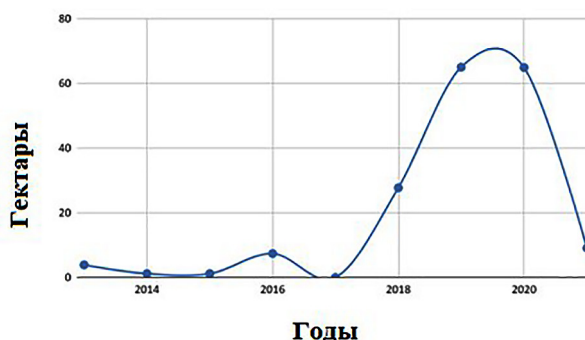


Рисунок 10 – Динамика индекса NDVI для участка № 4 (Высокогорский р-н, с. Березка)

Исследуя график динамики индекса NDVI для участка № 5 (рис. 11), можно отметить резкий рост индекса в 2014 и 2019 гг.

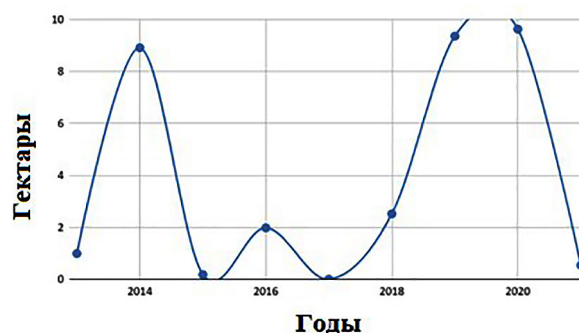


Рисунок 11 – Динамика индекса NDVI для участка № 5 (Пестречинский р-н, Шингали)

Для наглядного представления изменений использовался инструмент Timelapse [17] в QGIS, позволяющий построить визуальную анимацию динамики NDVI по годам на исследуемые участки (рис. 12).

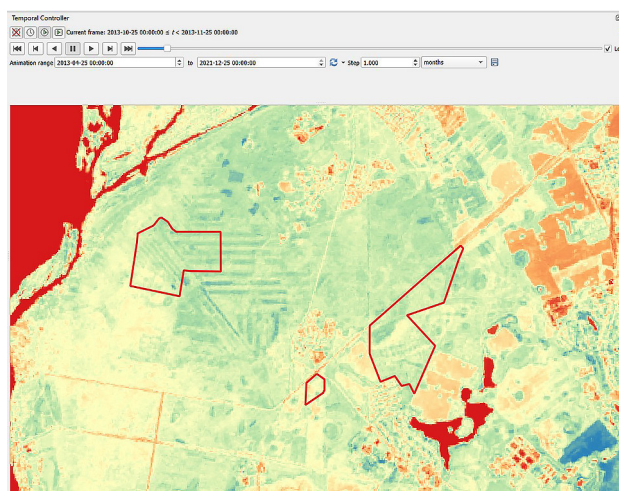


Рисунок 12 – Созданный timeline в виде анимации изменения индекса

Инструмент Timelapse может быть использован для наглядной демонстрации динамики изменения индекса NDVI при принятии решений. Использование индекса NDVI обеспечивает количественную оценку состояния растительности, но требует сопоставления с данными других индексов (EVI, SAVI) и наземных наблюдений для повышения точности интерпретации

результатов анализа, что может быть рассмотрено в будущих исследованиях.

Для оценки степени зарастания лесными культурами участков была проведена фотофиксация некоторых участков (рис. 13-15).

По данным полевых работ на всех участках наблюдается процесс зарастания лесными культурами.



Рисунок 13 – Участки с естественным возобновлением на постагрозных землях в Лаишевском р-не



Рисунок 14 – Участки с естественным возобновлением на постагрозных землях в Высокогорском р-не



Рисунок 15 – Склоновые
противоэрозионные культуры на бывшей
пашне на постагrogenных землях
в Пестречинском р-не

Интерпретация полученных результатов. Рассчитанные значения NDVI и построенные временные ряды позволили выявить пространственно-временные особенности зарастания на исследуемых участках Республики Татарстан в период 2013–2021 гг.

Анализ динамики показал, что на большинстве участков наблюдается снижение площади территорий с $NDVI > 0,3$, что свидетельствует о сокращении плотности растительного покрова. Исключением стал участок в Высокогорском районе (с. Березка), где индекс NDVI демонстрировал устойчивый рост, указывающий на активное восстановление или формирование новых культурных лесонасаждений.

Максимальные значения NDVI для большинства участков приходились на период 2018–2020 гг., что может быть связано с благоприятными климатическими условиями (повышенной увлажненностью и умеренными температурами), а также проведением лесохозяйственных мероприятий. После 2020 г. на ряде территорий зафиксировано снижение индекса, вероятно, обусловленное климатическими колебаниями, вырубками или изменением структуры землепользования. С учетом территориальных осо-

бенностей каждого из рассмотренных участков можно сделать следующие выводы:

1. Лаишевский район (Матюшинское и Столбище): зафиксировано заметное сокращение площадей с высокой растительностью. Это может быть связано с хозяйственным освоением и повышенной антропогенной нагрузкой.

2. Приволжский район (Песчаные Ковали): низкие значения NDVI и значительные колебания во времени указывают на нестабильность растительного покрова, что объясняется сельскохозяйственным назначением земель.

3. Высокогорский район (с. Березка): рост NDVI отражает восстановительные процессы, что согласуется с данными о лесных культурах на территории.

4. Пестречинский район (Шингали): колебания значений NDVI демонстрируют нестабильность зарастания, вероятно, обусловленную как природными факторами, так и хозяйственной деятельностью.

5. Бугульминский район (с. Петровка): динамика NDVI характеризуется снижением показателя, что указывает на деградацию растительности в рассматриваемый период.

Снижение NDVI на большинстве участков подтверждает наличие тенденции к деградации растительного покрова, что может быть связано с комплексом факторов: климатическими изменениями, изменением режима землепользования, рубками и сельскохозяйственной нагрузкой. В то же время рост NDVI на отдельных территориях демонстрирует возможность восстановления экосистем при благоприятных условиях и правильном управлении земельными ресурсами.

Результаты исследования подчеркивают неоднородность процессов зарастания в пределах одного региона и необходимость комплексного подхода, включающего как методы дистанционного зондирования, так и полевые наблюдения.

Используемые подходы динамики изменения растительного покрова могут быть использованы:

- для мониторинга лесного фонда и сельскохозяйственных угодий в других регионах России;
- при разработке программ рационального природопользования и экологического мониторинга;
- в качестве инструмента поддержки управленческих решений в сфере лесного, сельского хозяйства и охраны окружающей среды.

Заключение и выводы. В ходе исследования была проведена оценка степени зарастания

территорий Республики Татарстан с использованием данных дистанционного зондирования и инструментов геоинформационного моделирования. Анализ временного ряда спутниковых снимков Landsat за 2013–2021 гг. позволил рассчитать индекс NDVI и выявить пространственно-временные тенденции изменения растительного покрова:

1. Подтверждена высокая эффективность применения индекса NDVI для количественной оценки зарастания и мониторинга динамики растительности на региональном уровне.

2. Для большинства исследуемых участков выявлено снижение площади территорий с $NDVI > 0,3$, что указывает на деградацию растительного покрова за рассматриваемый период.

3. Исключением является участок в Высокогорском районе (с. Березка), где наблюдался рост NDVI, что свидетельствует о восстановительных процессах и успешном развитии лесных культур, что подтверждается натурными обследованиями участков.

4. Наибольшие значения NDVI на большинстве участков приходились на 2018–2020 гг., что, вероятно, связано с благоприятными климатическими условиями и лесохозяйственными мероприятиями.

5. Построенные временные ряды и визуализация с помощью инструмента Timelapse в QGIS показали высокую информативность метода для отслеживания пространственно-временных изменений.

В молодняках, где кроны деревьев еще не сомкнулись, большая часть сигнала поступает от травянистой и кустарниковой растительности, а не от древесной, что может приводить к занижению оценки древесной биомассы и завышению вклада трав. В будущих исследованиях авторов предполагается использовать для оценки другие индексы (EVI или SAVI). Для участков 10–15 лет результаты NDVI стоит рассматривать как ориентировочные. Вместе с тем необходимо отметить тенденцию к зарастанию участков лесными культурами в полевых исследованиях.

Перспективы дальнейших исследований включают:

- расширение временного ряда анализа с привлечением более свежих спутниковых данных;

- использование дополнительных вегетационных индексов (EVI, SAVI) для учета почвенных и климатических факторов;

- верификацию результатов с данными полевых исследований на большей площади. Воз-

можная закладка пробных площадей на других лесничествах в Татарстане;

- моделирование динамики изменений состояния растительности с использованием инструментов искусственного интеллекта.

Проведенное исследование подтвердило значимость геоинформационного анализа и дистанционного зондирования Земли для анализа динамики зарастания локально исследуемых территорий. Материалы дистанционного зондирования и обработка с использованием ГИС позволят предположить динамику изменения NDVI и прогнозировать развитие процессов, что особенно важно для устойчивого управления природными ресурсами. Для более точной оценки древесной биомассы в молодняках рекомендуется использовать комплексный подход: сочетать данные NDVI с наземными измерениями и при возможности с другими дистанционными индексами. Полученные результаты имеют потенциал для дальнейшего развития дистанционных методов в лесном хозяйстве и использования для экологического контроля, рационального природопользования, агро- и лесного хозяйства, способствуя разработке эффективных мер по сохранению биоразнообразия и повышению продуктивности земельных угодий в условиях трансформации экосистем.

Список источников

1. Агроклиматические условия в Республике Татарстан в период 1966-2021 гг. / Ю. П. Переведенцев [и др.] // Гидрометеорологические исследования и прогнозирование. 2022. № 4 (386). С. 96-113. DOI: 10.37162/2618-9631-2022-4-96-113.

2. Агролесомелиоративные подходы к облесению крутых склонов посевом желудей дуба черешчатого (*Quercus robur*) с сохранением природного рельефа / Р. Р. Сибгатуллина [и др.] // International Agricultural Journal. 2025. Т. 68, № 3. DOI 10.55186/25880209_2025_9_3_3.

3. Долгопериодные изменения температуры воздуха в Татарстане и их сценарии в текущем столетии / Ю. П. Переведенцев [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2019. № 2. С. 94-107. DOI: 10.33581/2521-6740-2019-2-94-107.

4. Михалева С. Д., Вагизов М. Р. Определение пробных площадей для проведения аэрофотосъемки Мухинского болота // Геоинформационное моделирование. 2025. Т. 1, № 1. С. 5–10.

5. Михалева С. Д., Вагизов М. Р., Гайфуллин И. И. Изучение Мухинского болота с использованием дешифрирования данных космических снимков // Информационные системы и технологии: сб. науч. тр. Санкт-Петербург: Санкт-Петербург. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, 2025. С. 160-168.

6. О стратегии развития лесного хозяйства в Республике Татарстан: Приказ от 14.12.2021 № 668-ОСП // Министерство лесного хозяйства Республики Татарстан: офиц. сайт. URL: <https://clck.ru/JTyeG> (дата обращения: 20.08.2025).

7. Поздеева С. Д., Вагизов М. Р. Оценка естественного лесовосстановления на болотистых местностях на основе обработки данных дистанционного зондирования Земли // Актуальные вопросы лесного хозяйства: материалы VIII Междунар. молодежн. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 21–22 нояб. 2024 г. Санкт-Петербург: ООО «Реноме», 2024. С. 172–176.

8. Публичная кадастровая карта / Росреестр: офиц. сайт. URL: rosreestr.gov.ru (дата обращения: 20.08.2025).

9. Способ учета подроста: пат. № 2084129, Российская Федерация: МКИ С 6 А 01 G 23/00 / А. В. Грязькин. – №94022328/13; заяв. 10.06.94; опуб. 20.07.97. Бюл. № 20.

10. Хуснутдинов И. И., Мусин Х. Г. Использование ГИС для пространственного планирования лесного хозяйства // Лесозащита и комплексное использование древесины: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф., Красноярск, 24 марта 2023 г. / Сиб. гос. ун-т науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева. Красноярск: Б. и., 2023. С. 138–142.

11. Anderson W, Johnson T. Evaluating Global Land Degradation Using Ground-Based Measurements and Remote Sensing. In: Nkonya E, Mirzabaev A, von Braun J, editors. Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development. Cham: Springer; 2015. p. 85–116. DOI: 10.1007/978-3-319-19168-3_5.

12. EarthExplorer: сайт. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 20.08.2025).

13. EOSDA. NDVI Explained: How The Index Helps Monitor Crop Health // EOS Data Analytics Blog. URL: <https://eos.com/blog/normalized-difference-vegetation-index-or-ndvi/> (дата обращения: 20.08.2025, на момент публикации источник недоступен).

14. GISGeography. What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)? // GIS Geography. URL: <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/> (дата обращения: 20.08.2025).

15. QGIS – A Free and Open Source Geographic Information System: сайт. URL: <https://qgis.org/> (дата обращения: 20.08.2025, на момент публикации источник недоступен).

16. U.S. Geological Survey. Landsat Normalized Difference Vegetation Index // USGS. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index> (дата обращения: 20.08.2025).

17. Ujaval Gandhi / Animating Time Series Data. URL: https://www.qgistutorials.com/en/docs/3/animating_time_series.html (дата обращения: 20.08.2025, на момент публикации источник недоступен).

18. Wang J, et al. Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. Int Soil Water Conserv Res. 2023. DOI: S209563392300014X.

References

1. Agroklimaticheskie usloviya v Respublike Tatarstan v period 1966-2021 gg. / Yu. P. Perevedencev [i dr.] // Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozirovaniye. 2022. № 4 (386). S. 96-113. DOI: 10.37162/2618-9631-2022-4-96-113.

2. Agrolesomeliorativny'e podxody k obleseniyu kruty'x sklonov posevom zheludej duba chereshchatogo (*Quercus robur*) s soxraneniem prirodnogo rel'efa / R. R. Sibgatullina [i dr.] // International Agricultural Journal. 2025. T. 68, № 3. DOI 10.55186/25880209_2025_9_3_3.

3. Dolgoperiodny'e izmeneniya temperatury vozduxa v Tatarstane i ix scenarii v tekushhem stoletii / Yu. P. Perevedencev [i dr.] // Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya. Geologiya. 2019. № 2. S. 94-107. DOI: 10.33581/2521-6740-2019-2-94-107.

4. Mixaleva S. D., Vagizov M. R. Opredelenie probny'x ploshhadej dlya provedeniya aerofotos'emki Muxinskogo bolota // Geoinformacionnoe modelirovaniye. 2025. T. 1, № 1. S. 5–10.

5. Mixaleva S. D., Vagizov M. R., Gajfullin I. I. Izuchenie Muxinskogo bolota s ispol'zovaniem deshifirovaniya danny'x kosmicheskix snimkov // Informacionny'e sistemy i texnologii: sb. nauch. tr. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburg. gos. lesotexn. un-t im. S. M. Kirova, 2025. S. 160-168.

6. O strategii razvitiya lesnogo xozyajstva v Respublike Tatarstan: Prikaz ot 14.12.2021 № 668-OSP // Ministerstvo lesnogo xozyajstva Respubliki Tatarstan: ofic. saj. URL: <https://clck.ru/JTyeG> (data obrashheniya: 20.08.2025).

7. Pozdeeva S. D., Vagizov M. R. Ocenka estestvennogo lesovosstanovleniya na bolotisty'x mestnostyax na osnove obrabotki danny'x distancionnogo zondirovaniya Zemli // Aktual'ny'e voprosy lesnogo xozyajstva: materialy VIII Mezhdunar. molodezhn. nauch.-prakt. konf., Sankt-Peterburg, 21–22 noyab. 2024 g. Sankt-Peterburg: ООО «Реноме», 2024. S. 172–176.

8. Publichnaya kadastravaya karta / Rosreestr: ofic. saj. URL: rosreestr.gov.ru (data obrashheniya: 20.08.2025).

9. Sposob ucheta podrosta: pat. № 2084129, Rossijskaya Federaciya: MКИ S 6 A 01 G 23/00 / A. V. Gryaz'kin. – №94022328/13; zayav. 10.06.94; opub. 20.07.97. Byul. № 20.

10. Xusnutdinov I. I., Musin X. G. Ispol'zovanie GIS dlya prostranstvennogo planirovaniya lesnogo xozyajstva // Lesoe'kspluatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf., Krasnoyarsk, 24 marta 2023 g. / Sib. gos. un-t nauki i texnologij im. akad. M. F. Reshetneva. Krasnoyarsk: B. i., 2023. S. 138-142.

11. Anderson W, Johnson T. Evaluating Global Land Degradation Using Ground-Based Measurements and Remote Sensing. In: Nkonya E, Mirzabaev A, von Braun J, editors. Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development. Cham: Springer; 2015. p. 85–116. DOI: 10.1007/978-3-319-19168-3_5.

12. EarthExplorer: saj. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (data obrashheniya: 20.08.2025).

13. EOSDA. NDVI Explained: How The Index Helps Monitor Crop Health // EOS Data Analytics Blog. URL: <https://eos.com/blog/normalized-difference-vegetation-index-or-ndvi/> (data obrashheniya: 20.08.2025, na moment publikatsii istochnik nedostupen).

14. GISGeography. What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)? // GIS Geography. URL: <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/> (data obrashheniya: 20.08.2025).

15. QGIS – A Free and Open Source Geographic Information System: sajt. URL: <https://qgis.org/> (data obrashheniya: 20.08.2025, na moment publikatsii istochnik nedostupen).

16. U.S. Geological Survey. Landsat Normalized Difference Vegetation Index // USGS. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index> (data obrashheniya: 20.08.2025).

17. Ujaval Gandhi / Animating Time Series Data. URL: https://www.qgistutorials.com/en/docs/3/animating_time_series.html (data obrashheniya: 20.08.2025, na moment publikatsii istochnik nedostupen).

18. Wang J, et al. Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. Int Soil Water Conserv Res. 2023. DOI: S209563392300014X.

Сведения об авторах:

Н. Ф. Гибадуллин^{1✉}, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, <https://orcid.org/0009-0002-2380-8240>;

Х. Г. Мусин², доктор сельскохозяйственных наук, профессор, <https://orcid.org/0009-0001-3388-1487>;

А. Д. Ларионов³, магистрант;

Н. О. Романов⁴, магистрант;

М. Р. Вагизов⁵, доктор технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-4848-1619>

^{1,2}ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, 420015, Россия, Казань, ул. Карла Маркса, 65

^{3,4}ФГБОУ ВО «СПбГЛТУ им. С. М. Кирова», 194021, Россия, Санкт-Петербург, пер. Институтский, 5

⁵ФГБОУ ВО «РГГМУ», 192007, Россия, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, 79

[✉]nursil.gibadullin@mail.ru

Original article

ASSESSMENT OF REFORESTATION DYNAMICS BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Nursil F. Gibadullin^{1✉}, **Haris G. Musin**², **Artem D. Larionov**³, **Nikita O. Romanov**⁴, **Marcel R. Vagizov**⁵

^{1,2}Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

^{3,4}Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov, Saint-Petersburg, Russia

⁵Russian State Hydrometeorological University, Russia

[✉]nursil.gibadullin@mail.ru

Abstract. The relevance of the study is due to the need of monitoring the spatial and temporal changes in vegetation cover, which have a significant impact on the state of ecosystems, biodiversity and the land use efficiency. The research purpose is the application of geographic information systems (GIS) and remote sensing methods for monitoring the dynamics of colonization by tree and shrubby vegetation. The paper discusses the methodology for analyzing vegetation by the example of the Republic of Tatarstan for the period 2013–2021, based on open Landsat 8 satellite data. Five sites were selected for remote sensing data processing in the Laishevsky, Privolzhsky, Vysokogorsky, and Pestrechinsky Districts, which differed in their characteristics and plant composition. The key tool is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which is quantified and visualized using the QGIS software. The calculated NDVI values and the constructed time series allowed us to identify the spatial and temporal features of overgrowth in the studied areas. The analysis of the dynamics showed that in most areas, there was a decrease in the area size with NDVI > 0.3, which indicated a reduction in the density of vegetation cover. The exception was the area in the Vysokogorsky District (the village of Berezka), where the NDVI index showed a steady increase. The maximum NDVI values for most plots were in 2018–2020, which may be due to favorable climatic conditions and the implementation of forestry measures. The constructed time series and visualization by means of the Timelapse tool in QGIS demonstrated the high informative value of the method for monitoring spatial and temporal dynamics. The obtained results of geoinformational modeling have an applied significance for environmental control, rational nature management, agroforestry, contributing to the development of effective measures for biodiversity conservation and increasing the land productivity under the conditions of digitalization and transformation of ecosystems.

Key words: geoinformational systems (GIS), vegetation dynamics, land overgrowth, monitoring, rational nature management, Landsat 8, NDVI, QGIS.

For citation: Gibadullin N. F., Musin H. G., Larionov A. D., Romanov N. O., Vagizov M. R. Assessment of reforestation dynamics based on Earth remote sensing data in the Republic of Tatarstan. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2026; 2 (86): 35-47. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2026_2_35-47.

Authors:

N. F. Gibadullin^{1✉}, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0009-0002-2380-8240>;

H. G. Musin², Doctor of Agricultural Sciences, Professor, <https://orcid.org/0009-0001-3388-1487>;

A. D. Larionov³, Master's student;

N. O. Romanov⁴, Master's student;

M. R. Vagizov⁵, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-4848-1619>

^{1,2}Kazan State Agrarian University, 65 Karla Marksa St., Kazan, Russia, 420015

^{3,4}Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov, 5 Institutskiy Pereulok St., Saint-Petersburg, Russia, 194021

⁵Russian State Hydrometeorological University, 79 Voronezhskaya St., Saint-Petersburg, Russia, 192007

[✉]nursil.gibadullin@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 24.02.2026; одобрена после рецензирования 12.03.2026; принята к публикации 05.06.2026.

The article was submitted 24.02.2026; approved after reviewing 12.03.2026; accepted for publication 05.06.2026.

Научная статья

УДК 630*164.4+630*17:582.475

DOI 10.48012/1817-5457_2026_2_47-55

БИОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РОСТА И СОСТОЯНИЯ САЖЕНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ ЛЕСНОГО ПИТОМНИКА

Коновалов Владимир Федорович[✉], Рахматуллин Загир Забирович,
Сабирзянов Ильдар Галиханович, Муфтахова Светлана Ильдаровна,
Рафикова Дина Анваровна

ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, Уфа, Россия

vfkonovalev@bk.ru

Аннотация. Изучены биометрические показатели роста, жизненного состояния и взаимосвязи ростового процесса с уровнем фенотипического разнообразия по количественным признакам саженцев сосны обыкновенной, произрастающих в лесном питомнике учебно-научного центра Башкирского государственного аграрного университета. Обеспечено соблюдение системного подхода к морфометрической оценке саженцев сосны обыкновенной, а также методических и методологических требований к постановке и проведению полевого этапа работы по проблеме научного исследования. Дана статистическая оценка роста саженцев вида, представленных в экспериментальной выборке, включающей 458 растений. Выделено по энергии роста четыре группы саженцев, которые характеризуются отличительными размерными показателями анализируемых признаков: диаметр и высота, прирост осевого побега стволика, прирост боковых побегов и жизненное состояние, что указывает на специфику их генотипов. Различия между саженцами сосны обыкновенной по признакам роста и состояния подтверждены соответствующими уравнениями регрессии и расчетами коэффициентов детерминации и корреляции. Выделенные лучшие по ростовым процессам и жизненному состоянию саженцы сосны обыкновенной, характеризующиеся наглядно выраженными фенотипическими и генотипическими особенностями, представляют высокую ценность в лесокультурном производстве.