

ЭКОЛОГИЯ/ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1>

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭДАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Научная статья

Козлова А.А.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0001-7803-011X;

¹ Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (akatoe-nn[at]yandex.ru)

Аннотация

Данные космических снимков позволяют рассмотреть лесной покров исследуемой территории, а их последующая обработка — оценить плотность, равномерность распределения лесных массивов, а также их состояние. В настоящей работе используются данные спутниковых снимков LANDSAT, охватывающие территорию Нижегородской области, актуальные на 2024 год и обработанные с помощью аналитических инструментов геоинформационной платформы NextGIS. Полученные эмпирические результаты были сопоставлены с показателем Лесного плана региона на 2019–2028 гг., предусматривающего распределение земель лесного фонда по преобладающим породам, группам возраста, полноты и классам бонитета. Кроме того, характеристики лесорастительных условий были сопоставлены с характеристиками почв (генезис почвенной породы, тип почвы). Таким образом, настоящее исследование показывает актуальное состояние лесных фитоценозов Нижегородской области и его зависимость от эдафических условий.

Ключевые слова: геоинформационные системы, ДЗЗ, LANDSAT, Нижегородская область, генезис почв, возрастные группы леса, полнота леса, продуктивность леса.

GEOINFORMATION ANALYSIS OF THE STATE OF FORESTS IN NIZHNY NOVGOROD OBLAST AND THEIR DEPENDENCE ON EDAPHIC CONDITIONS

Research article

Kozlova A.A.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0001-7803-011X;

¹ Nizhny Novgorod Lobachevsky State University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

* Corresponding author (akatoe-nn[at]yandex.ru)

Abstract

Satellite imagery data allows to examine the forest cover of the studied territory, and its subsequent processing makes it possible to assess the density, uniformity of distribution of forest areas, as well as their condition. This research uses LANDSAT satellite image data covering Nizhny Novgorod Oblast, current as of 2024 and processed using the analytical tools of the NextGIS geoinformation platform. The obtained empirical results were compared with the indicator of the Forest Plan of the region for 2019–2028, which provides for the distribution of forest fund lands by predominant species, age groups, fullness and bonitet classes. In addition, the characteristics of forest growth conditions were compared with soil characteristics (soil genesis, soil type). Thus, this survey shows the current state of forest phytocenoses in Nizhny Novgorod Oblast and their dependence on edaphic conditions.

Keywords: geographic information systems, ERS, LANDSAT, Nizhny Novgorod Oblast, soil genesis, forest age groups, forest cover, forest productivity.

Введение

Нижегородская область — регион, расположенный в центре европейской части России и территориально относящийся к Среднему Поволжью наряду с Самарской, Ульяновской областями, республиками Татарстан, Чувашия и Марий Эл. Область вытянута в меридиональном направлении и разделена р. Волгой на низменное левобережье (Заволжье) и правобережье, составляющее часть Приволжской возвышенности [6, С. 115].

Преобладающее большинство природных сообществ региона сформировано на полесских, моренных, зандровых, реже — аллювиальных ландшафтах [8, С. 181], которым соответствуют легко- и среднесуглинистые, супесчаные подстилаемые почвообразующие породы. Исходя из этого, наиболее часто встречающимися типами почв в фитоценозах области можно считать дерново-подзолистые и дерново-подзолистые глеевые, серые и темно-серые, реже — подзолистые и подзолистые глеевые [10] (см. рис. 1, 2).



Рисунок 1 - Типы почв России
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.1>

Примечание: *ист.* – Национальный атлас почв России, 2011

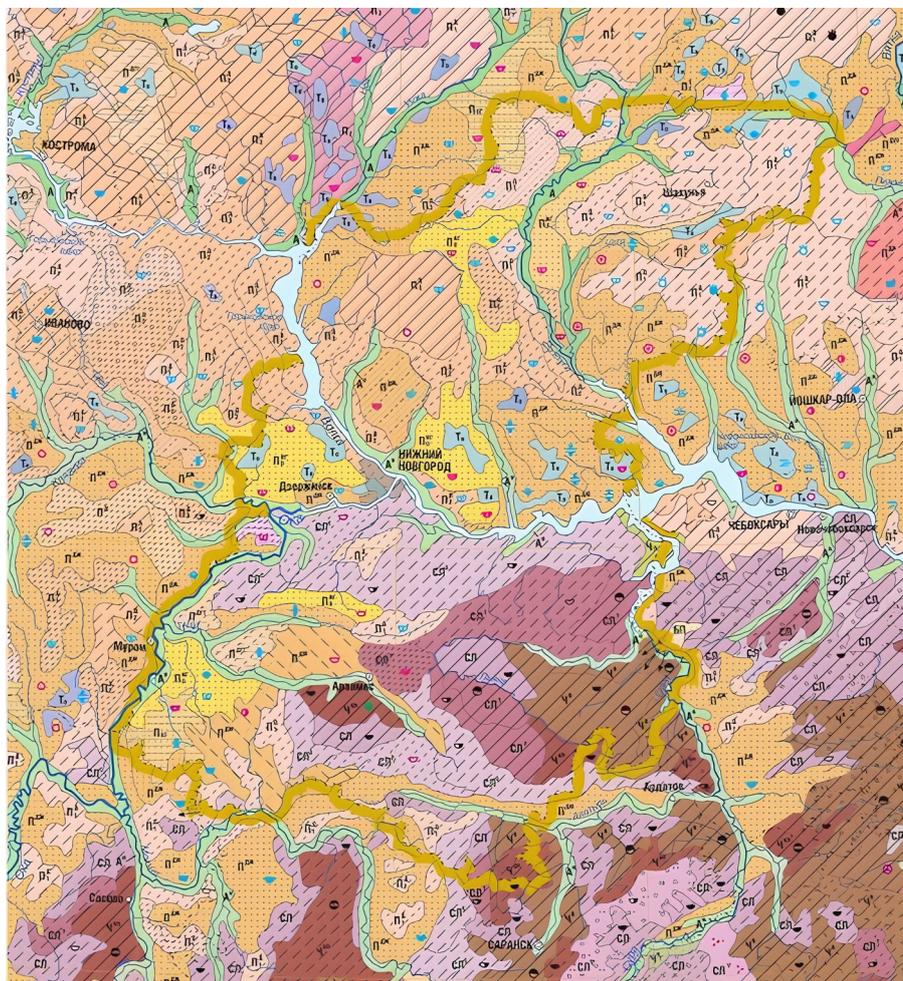


Рисунок 2 - Распределение различных типов почв в фитоценозах Нижегородской области
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.2>

Примечание: *ист.* – Национальный атлас почв России, 2011

Фитоценозы Нижегородской области территориально относятся к двум природным зонам — тайги (южная подзона) на северо-востоке области (Ветлужский, Шахунский, Шарангский районы) и смешанных хвойно-мелколиственных лесов (центральная и южная части области). Согласно данным Лесного плана региона на 2019-2028

гг. (форма Государственного лесного реестра (ГЛР) №2) [12], преобладающими лесообразующими породами в большинстве районов являются обыкновенная сосна (*Pinus sylvestris*), береза повислая (*Betula pendula*) и лишь в немногих — осина (*Populus tremula*), а фитоценозы принадлежат к двум возрастным группам — средневозрастным (>40 лет) и молоднякам. Форма Государственного лесного реестра (ГЛР) №5, отражающая распределение лесов по группам полноты и классам бонитета, демонстрирует преобладание в регионе высокополнотных (относительная степень сомкнутости кроны 0,7-0,9) и средне- либо низкопродуктивных (III-IV класс бонитета) лесных массивов.

В настоящей работе статистика Федерального агентства лесного хозяйства по 35 районным и межрайонным лесничествам Нижегородской области была сопоставлена с данными спутниковых снимков, позволяющими оценить плотность лесного покрова региона и равномерность его распределения [5, С. 182]. Впервые для описания фитоценозов региона данные космических снимков и количественные данные форм ГЛР интегрированы в единую геоинформационную платформу, что позволило оценивать лесорастительные условия в фитоценозах области комплексно.

В дальнейшем корреляция между лесорастительными условиями в регионе и почвами, на которых сформировались леса, была проверена статистически с помощью алгоритма платформы для обработки статистических данных «СтатТех» — для каждой группы потенциально или реально взаимосвязанных переменных подсчитывался коэффициент статистической значимости различий при распределении этих переменных.

Таким образом, в начале исследования были выдвинуты следующие предположения:

1) Лесные фитоценозы распределены по территории Нижегородской области неравномерно, образуя более густые массивы на северо-западе региона и в центральной части. К югу наблюдается снижение общей лесистости территории.

2) Такая гетерогенность лесного покрова, а также состав, возраст и продуктивность древостоя объясняются в т. ч. эдафическими факторами.

Гипотезы проверялись с помощью геоинформационных технологий. Геоинформационные системы используются в экологии, рациональном природопользовании и лесном хозяйстве сравнительно недавно [3, С. 66], но представляют собой обширный комплекс методов пространственного анализа данных, имеющих географическую привязку (границы лесных фитоценозов, очаги лесных пожаров, районы восстановления леса и т. д. [2, С. 217]). В настоящей работе применяются методы растеризации спутниковых снимков, картографирования конкретных объектов (лесничества) и пространственного анализа их распределения (работа со слоем векторных данных)

Методы и принципы исследования

Материалами настоящего исследования послужили теоретические данные, собранные из открытых источников (официальные сайты региональных министерств, ведомств и атласов), а также эмпирические данные.

Первая группа данных представляет собой статистику из форм ГЛР №2 и №5 по каждому из 35 лесничеств Нижегородской области, собранную Федеральным агентством лесного хозяйства и обобщенным в Лесном плане региона [12], а также информацию из Национального атласа почв Российской Федерации [10], представляющую собой почвенное районирование. Все характеристики лесорастительных и почвенных условий в лесничествах, были сведены в таблицу *csv для экспорта на цифровую карту в программе NextGIS.

Эмпирические данные — космические снимки LANDSAT, отображающие растительный покров Нижегородской области, актуальные на 2025 г. и загруженные с портала данных NextGIS Data Server. В дальнейшем они были подвергнуты растеризации для упрощения оценки распределения лесных массивов (см. рис. 3).

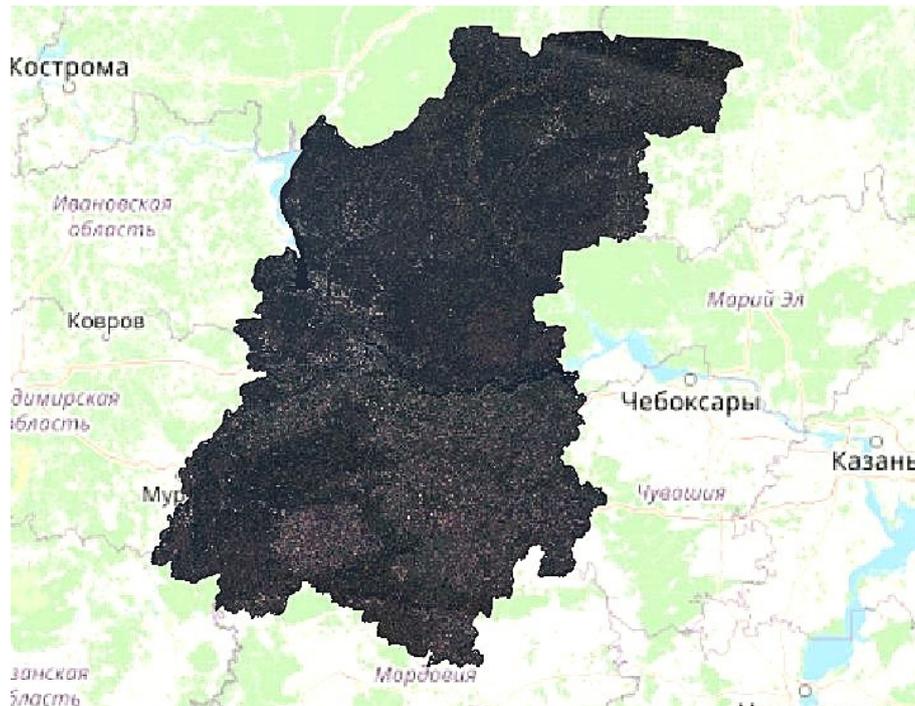


Рисунок 3 - Космический снимок LANDSAT Нижегородской области на карте NextGIS (2025)
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.3>

NextGIS представляет собой комплексную геоинформационную платформу с картографическим и аналитическим сервисами, позволяющими выгружать векторные данные на карту в виде точечного, линейного, полигонального слоев и анализировать с помощью специальных инструментов, а также работать с растровыми данными [4]. В настоящем исследовании на карте NextGIS представлены векторные слои — полигональный с административными границами региона и точечный с координатами каждого лесничества и информацией о нем. Векторные слои ранее использовались для визуализации данных по конкретным лесничествам [7, С. 26]. Растровые данные представлены космическим снимком LANDSAT.

Данные снимка обрабатывались с помощью инструментов "Pseudocolour raster style" (создание тепловой карты, позволяющей отследить густоту и равномерность распределения лесных массивов) и Tree Density Calculator (расчет плотности древостоя и разбивка исследуемой территории на классы, соответствующие группам полноты леса).

Векторные данные — информация по каждой точке, соответствующей лесничеству — были отфильтрованы с помощью инструмента "Filter by attribute" по следующим признакам: группа возраста и класс бонитета леса, преобладающего на территории данного лесничества. Результат работы с векторными данными представляет собой цветовую точечную карту.

Основные результаты

Первичным результатом работы с растровым слоем (данными космического снимка LANDSAT) стала тепловая карта лесного покрова Нижегородской области, полученная с помощью инструмента "Pseudocolor raster style", отображающая плотность древостоя и степень равномерности его распределения. Как и было предположено ранее, в регионе наблюдается относительно плотный, но гетерогенно распределенный древостой. Крупные лесные массивы большей плотности соответствуют южно-таежным фитоценозам на северо-востоке области и смешанным лесам Арзамасского межрайонного лесничества (центральная часть области, смещение к югу), в которых преобладают хвойные породы. В центральных и северо-западных районах наблюдается более равномерная картина распределения плотности древостоя, не приуроченного к крупным лесным фитоценозам (см. рис. 4).

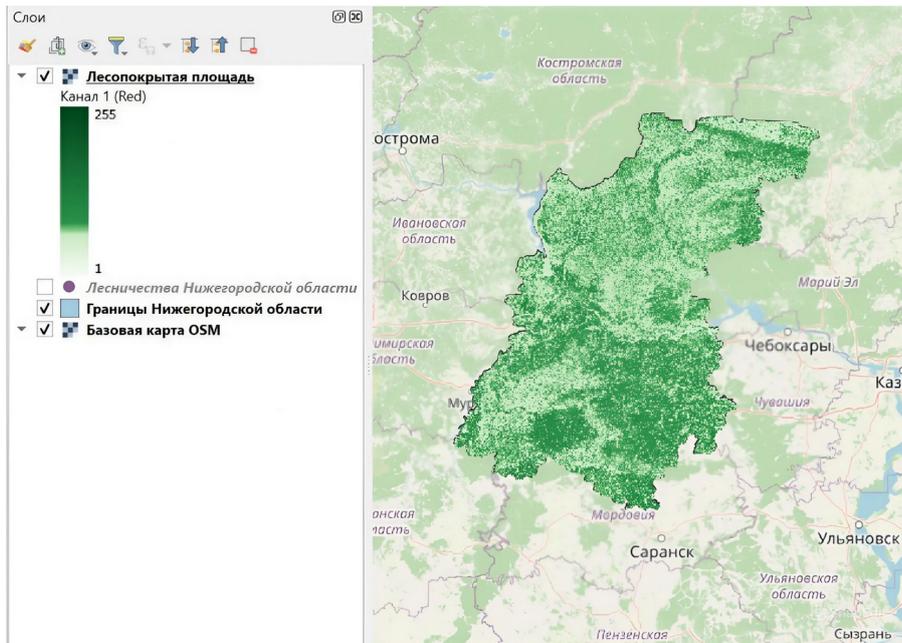


Рисунок 4 - Тепловая карта распределения лесов Нижегородской области, полученная при обработке космического снимка LANDSAT

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.4>

Плотность древостоя и общая лесистость региона была оценена с помощью инструмента Tree Density Calculator. В результате территория Нижегородской области была разбита на участки, соответствующие 5 классам плотности. Классы плотности сопоставимы с группами относительной полноты леса, представленными в форме ГЛР №5. Фитоценозы в большинстве районных и в особенности межрайонных лесничествах можно отнести к 1–2 классам плотности (группы полноты >0.8). Общая лесистость территории также сопоставима с данными Лесного плана, согласно которым доля лесопокрытой площади в регионе составляет 47,5% (см. рис. 5).

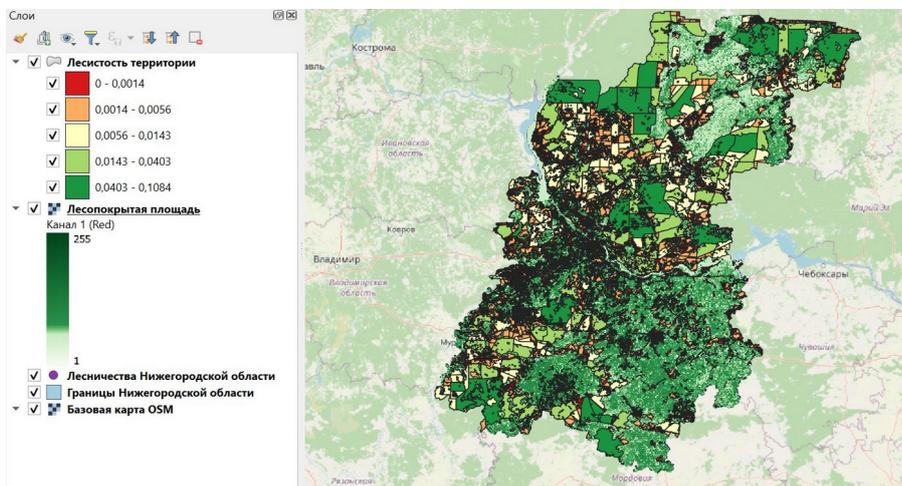


Рисунок 5 - Оценка лесистости территории Нижегородской области с помощью "Tree Density Calculator"

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.5>

В результате работы с векторными данными было выявлено следующее: подавляющее большинство точек на карте NexGIS соответствуют лесничествам, в которых преобладает средневозрастной среднебонитетный древостой (III класс продуктивности леса) [9]. Более молодые и высокопродуктивные леса отмечены на юго-западе и в нескольких точках в центральной части области. К северу, при переходе зоны смешанных лесов в таежную, наблюдается понижение класса продуктивности. Это может объясняться большим возрастом таежных фитоценозов, в которых средневозрастной древостой постепенно преобразуется в приспевающий (см. рис. 6).

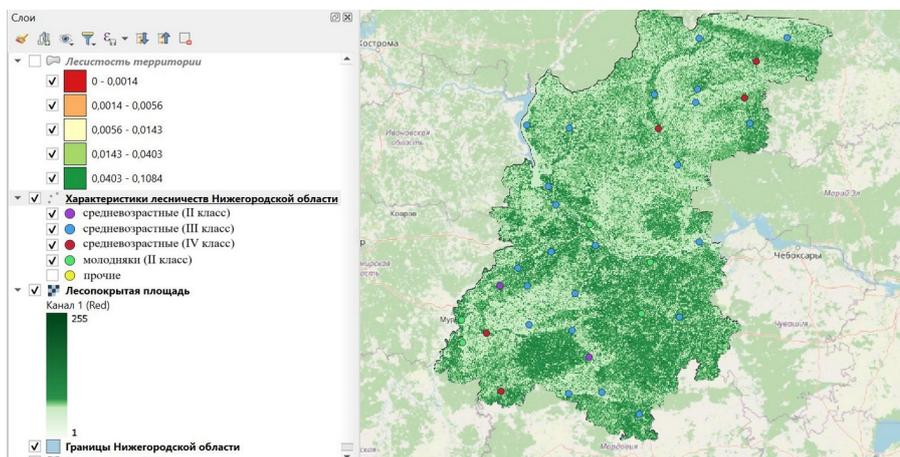


Рисунок 6 - Распределение пород разных возрастов в фитоценозах Нижегородской области
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.6>

Статистическая обработка результатов

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.8.3 (ООО «Статтех», Россия).

Количественные показатели (в настоящем исследовании — полнота и бонитет леса) оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка [1, С. 174]. Категориальные данные (в настоящем исследовании — природная зона, преобладающая порода, группа возраста леса, почвообразующая порода и тип почвы) описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей [1, С. 292]. Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни [1, С. 178]. Сравнение трех и более групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью критерия Краскела-Уоллиса, апостериорные сравнения — с помощью критерия Данна с поправкой Холма [1, С. 244]. Сравнение процентных долей при анализе многопольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия хи-квадрат Пирсона. Апостериорные сравнения выполнялись с помощью критерия хи-квадрат Пирсона с поправкой Холма. Различия считались статистически значимыми при коэффициенте $p < 0,05$ [1, С. 86].

В результате статистической обработки данных была выявлена взаимосвязь между типом почвы и типом древостоя (лиственный/хвойный). Коэффициент статистической значимости составил $p = 0,037$ (см. табл. 1., рис. 7).

Таблица 1 - Зависимость преобладающего типа леса от типа почвы в фитоценозах Нижегородской области

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.7>

| Тип почвы | Преобладающий тип древостоя | | | | p (коэффициент статистической значимости; доли единицы) |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|---|
| | Лиственный | | Хвойный | | |
| | Абс. ед. (число точек) | % от общего количества точек | Абс. ед. (число точек) | % от общего количества точек | |
| дерново-подзолистые | 7 | 58,3 | 5 | 41,7 | 0,037 |
| дерново-подзолистые глеевые | 0 | 0 | 2 | 100 | |

| Тип почвы | Преобладающий тип древостоя | | | | p (коэффициент статистической значимости; доли единицы) |
|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|
| | Лиственный | | Хвойный | | |
| | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | |
| подзолистые глеевые | 1 | 100 | 0 | 0 | |
| подзолистые | 3 | 60 | 2 | 40 | |
| подзолистые иллювиально-железистые | 0 | 0 | 5 | 100 | |

| Тип почвы | Преобладающий тип древостоя | | | | p (коэффициент статистической значимости; доли единицы) |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|---|
| | Лиственный | | Хвойный | | |
| | Абс. ед. (число точек) | % от общего количества точек | Абс. ед. (число точек) | % от общего количества точек | |
| серые | 4 | 80 | 1 | 20 | |
| темно-серые | 3 | 100 | 0 | 0 | |
| черноземы текстурно-карбонатные | 2 | 100 | 0 | 0 | |

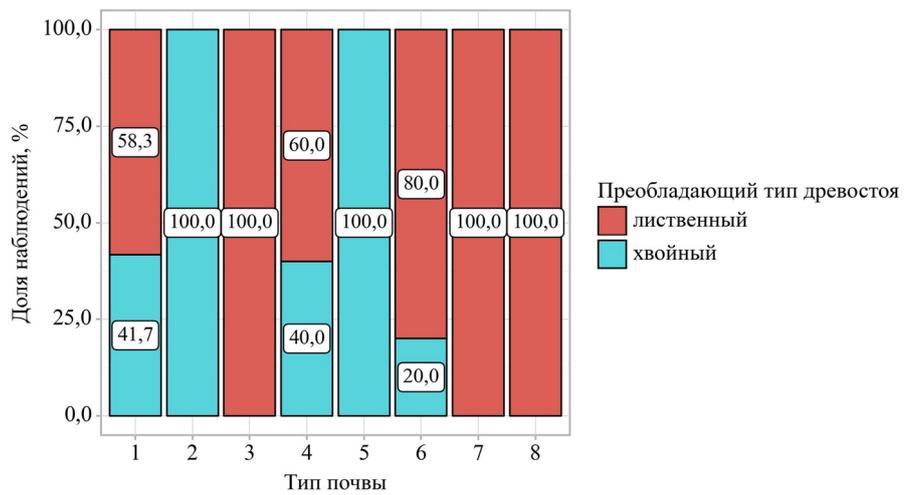


Рисунок 7 - Зависимость преобладающего типа леса от типа почвы в фитоценозах Нижегородской области
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.8>

Примечание: типы почв: 1 — дерново-подзолистые; 2 — дерново-подзолистые иллювиальные; 3 — подзолистые глеевые; 4 — подзолистые иллювиально-гумусовые; 5 — подзолистые иллювиально-железистые; 6 — светло-серые лесные; 7 — темно-серые лесные; 8 — черноземы выщелоченные

Также была обнаружена прямая корреляция между лесобразующей породой и типом почвы — коэффициент статистической значимости составил $p = 0,035$ (см. табл. 2, рис. 8).

Таблица 2 - Зависимость преобладающих лесобразующих пород от типа почвы в Нижегородской области

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.9>

| Тип почвы | Преобладающая лесобразующая порода | | | | | | p (коэффициент статистической значимости; доли единицы) |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|
| | Береза | | Осина | | Сосна | | |
| | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | |
| дерново-подзолистые | 7 | 58,3 | 0 | 0 | 5 | 41,7 | 0,035 |
| дерново-подзолистые глеевые | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 100 | |

| Тип почвы | Преобладающая лесообразующая порода | | | | | | p (коэффициент статистической значимости; доли единицы) |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|
| | Береза | | Осина | | Сосна | | |
| | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | |
| подзолистые глеевые | 1 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| подзолистые | 3 | 60 | 0 | 0 | 2 | 40 | |
| подзолистые иллювиально-железистые | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 100 | |

| Тип почвы | Преобладающая лесообразующая порода | | | | | | p (коэффициент статистической значимости; доли единицы) |
|--|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|
| | Береза | | Осина | | Сосна | | |
| | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | Абс. ед. (количество точек) | % от общего количества точек | |
| серые | 4 | 80 | 0 | 0 | 1 | 20 | |
| темно-серые | 2 | 66,7 | 1 | 33,3 | 0 | 0 | |
| черноземы текстурно- карбонатные | 2 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

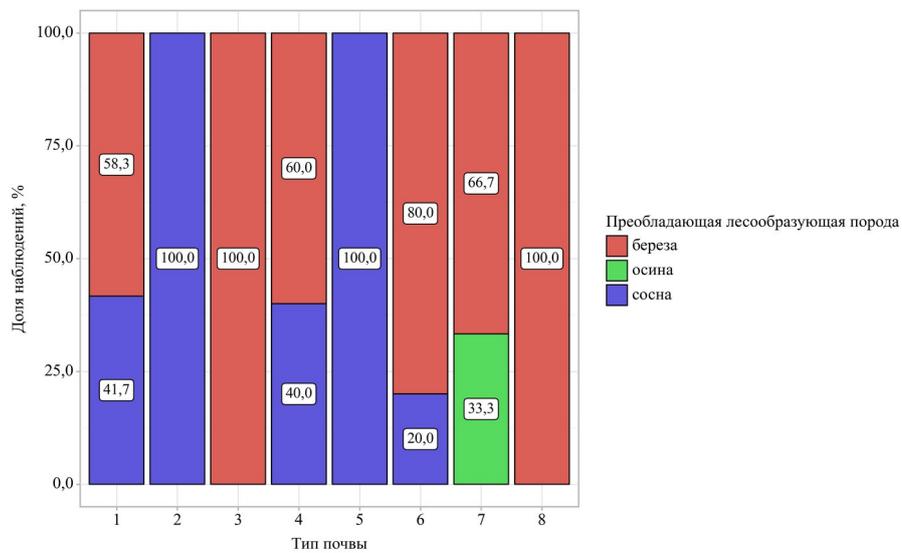


Рисунок 8 - Зависимость преобладающих лесобразующих пород от типа почвы в фитоценозах Нижегородской области
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.10>

Примечание: типы почв: 1 — дерново-подзолистые; 2 — дерново-подзолистые глеевые; 3 — подзолистые глеевые; 4 — подзолистые; 5 — подзолистые иллювиально-железистые; 6 — серые; 7 — темно-серые; 8 — черноземы текстурно-карбонатные

Тем не менее корреляции между количественными показателями лесорастительных условий (возраст леса, группа полноты, класс бонитета леса) и эдафическими факторами обнаружено не было — при сопоставлении количественных и качественных показателей коэффициент статистической значимости всегда составлял $p > 0,05$. Так, например, при анализе зависимости полноты древостоя в фитоценозах от типа почвы коэффициент составил $p = 0,057$ (см. табл. 3., рис. 9).

Таблица 3 - Зависимость полноты леса от типа почвы в фитоценозах Нижегородской области

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.11>

| Тип почвы | Полнота леса | | | p (коэффициент статистической значимости; доли единицы) |
|-----------------------------|------------------|--|----|---|
| | Me, доли единицы | Q ₁ – Q ₃ , доли единицы | n | |
| дерново-подзолистые | 0,70 | 0,70 – 0,80 | 12 | 0,057 |
| дерново-подзолистые глеевые | 0,65 | 0,62 – 0,67 | 2 | |
| подзолистые глеевые | 0,70 | 0,70 – 0,70 | 1 | |

| Тип почвы | Полнота леса | | | p (коэффициент статистической значимости; доли единицы) |
|------------------------------------|------------------|--|---|---|
| | Me, доли единицы | Q ₁ – Q ₃ , доли единицы | n | |
| подзолистые | 0,70 | 0,60 – 0,70 | 5 | |
| подзолистые иллювиально-железистые | 0,80 | 0,80 – 0,80 | 5 | |
| серые | 0,60 | 0,60 – 0,70 | 5 | |
| темно-серые | 0,70 | 0,65 – 0,70 | 3 | |

| Тип почвы | Полнота леса | | | p (коэффициент статистической значимости; доли единицы) |
|---------------------------------|------------------|-----------------------|---|---|
| | Me, доли единицы | Q1 – Q3, доли единицы | n | |
| черноземы текстурно-карбонатные | 0,70 | 0,70 – 0,70 | 2 | |

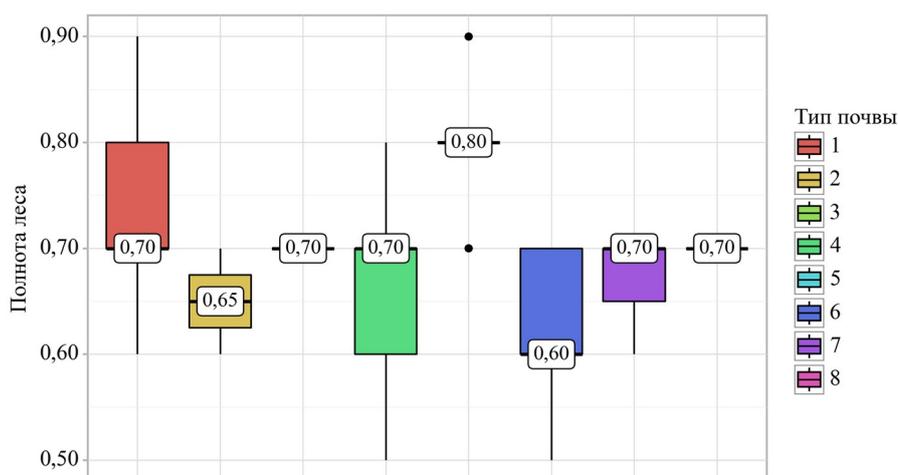


Рисунок 9 - Зависимость полноты леса от типа почвы в фитоценозах Нижегородской области
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.1.12>

Примечание: типы почв: 1 — дерново-подзолистые; 2 — дерново-подзолистые глеевые; 3 — подзолистые глеевые; 4 — подзолистые; 5 — подзолистые иллювиально-железистые; 6 — серые; 7 — темно-серые; 8 — черноземы текстурно-карбонатные

Предположительно, это объясняется тем, что старение и снижение продуктивности леса — процессы, обусловленные в большей степени биотическими факторами внутри самих фитоценозов и их близостью к зонам антропогенного пресса, чем эдафическими условиями [11, С. 79].

Выводы

По результатам проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

1) Гипотеза о неравномерном распределении лесного покрова на территории Нижегородской области подтверждена полностью — это показывает полученная тепловая карта региона и карта плотности лесных массивов, разбивающая лесные сообщества на классы плотности.

2) Сопоставление теоретических (формы ГЛР №2, №5) и эмпирических (точки на карте, соответствующие лесничествам с определенными лесорастительными условиями) позволило сделать вывод о принадлежности большинства фитоценозов региона к средним и нижним классам бонитета (III–IV) и группам высокой полноты леса (степень полноты > 0,8, 1-2 классы). К северу области, при переходе зоны смешанных лесов в таежную, наблюдается снижение продуктивности (бонитета) леса.

3) Статистический анализ данных выявил прямую корреляцию между типами почв и фитоценозов региона — при сопоставлении параметров «тип почвы» и «тип древостоя» в базе данных платформы «СтатТех» были выявлены значимые различия (коэффициент статистической значимости принимал значения < 0,05).

4) При этом при статистической обработке данных не нашло подтверждение гипотеза о зависимости количественных показателей лесорастительных условий (возраст, полнота, бонитет леса) от эдафических факторов (тип почвы, почвообразующая порода) — коэффициент статистической значимости принимал значение > 0,05.

Заключение

В ходе настоящего исследования была определена структура распределения фитоценозов различного видового состава, возраста, полноты и степени продуктивности по Нижегородской области. Гипотезы, выдвинутые в начале работы, подтверждены лишь частично — почвообразующие породы и, соответственно, тип почвы на территории определяют состав древостоя в пределах природной зоны (таежной или смешанных лесов), но не влияют напрямую на старение леса, его плотность и степень продуктивности — эти показатели в большей степени зависят от биотических и антропогенных факторов сообщества.

Тем не менее с помощью геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования была получена общая картина состояния лесов, равномерности их распределения, а также подсчитана плотность древостоя в основных исследованных районах и общая степень лесистости территории. Стоит отметить, что NextGIS принимает во внимание гетерогенность лесного покрова Нижегородской области и способен определить плотность древостоя даже в фитоценозах малой площади.

Стоит отметить, что результаты геоинформационного мониторинга требуют статистического подтверждения достоверности, что и было показано в настоящей работе. Применение методов математической статистики и

использование соответствующих платформ позволит исключить субъективность и случайные ошибки при нанесении данных о лесорастительных условиях в фитоценозах на цифровую карту.

Таким образом, геоинформационные технологии с учетом обязательной последующей статистической обработки данных можно считать объективным методом анализа лесорастительных условий на территориях разной протяженности и применять в длительном мониторинге состояния лесов конкретных регионов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

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

Conflict of Interest

None declared.

Review

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

Список литературы / References

1. Белюченко И.С. Анализ данных и математическое моделирование в экологии и природопользовании / И.С. Белюченко, А.В. Смагин, Л.Б. Попок. — Краснодар : Издательство Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина, 2015. — 313 с.
2. Варламов А.А. Земельный кадастр. Географические и земельные информационные системы / А.А. Варламов, С.А. Гальченко. — Москва : Колос, 2006. — Т. 6. — 400 с.
3. Васнев И.И. Геоинформационные системы в почвоведении и экологии : учебно-практическое пособие / И.И. Васнев, Ю.Л. Мешалкина, Д.А. Грачев. — Москва : МСХА им. К.А. Тимирязева, 2010. — 212 с.
4. Документация по программному обеспечению NextGIS/QGIS // Программное обеспечение NextGIS/QGIS. — 2025. — URL: <https://docs.nextgis.ru/> (дата обращения: 23.04.25).
5. Ерунцова Е.Р. Использование геоинформационных систем в экологии и природопользовании / Е.Р. Ерунцова // Актуальные вопросы науки и образования: теоретические и прикладные аспекты : материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. — Кишинев : Научно-издательский центр «Мир науки», 2018. — С. 181–185.
6. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А.Г. Исаченко. — Москва : Издательство «Высшая школа», 1991. — 366 с.
7. Козлова А.А. Геоинформационные технологии в оценке состояния лесных сообществ Среднего Поволжья / А.А. Козлова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2023. — № 2. — С. 23–30.
8. Мильков Ф.Н. Среднее Поволжье: физико-географическое описание / Ф.Н. Мильков. — Москва : Издательство академии наук СССР, 1953. — 263 с.
9. Мининзон И.Л. Ботаническая география Нижнего Новгорода / И.Л. Мининзон // Экологический центр «Дронт». — Нижний Новгород, 2024. — URL: <https://dront.ru/wp-content/uploads/2024/04/Botan.-geogr.-Nizh.-Novg-2024.pdf> (дата обращения: 10.04.25).
10. Национальный атлас почв Российской Федерации. — 2021. — URL: <https://web.archive.org/web/20201204082541/https://soil-db.ru/soilatlas/> (дата обращения: 10.04.25).
11. Перепелкина Е.Б. Изучение минеральных и органических компонентов водпрочных агрегатов гумусово-аккумулятивных горизонтов серых лесных почв Среднего Поволжья / Е.Б. Перепелкина. — Казань : Издательство Казанского государственного университета, 2004. — 125 с.
12. Российская Федерация. Лесной план Нижегородской области на 2019–2028 гг. : [принят Федеральным агентством лесного хозяйства по Нижегородской области 2018-12-27]. — 2018.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Belyuchenko I.S. Analiz dannikh i matematicheskoe modelirovanie v ekologii i prirodopolzovanii [Data analysis and mathematical modelling in environmental sciences] / I.S. Belyuchenko, A.V. Smagin, L.B. Popok. — Krasnodar : Publishing House of Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2015. — 313 p. [in Russian]
2. Varlamov A.A. Zemelnii kadastr. Geographic and land-using information systems [Land cadastre. Geographical and land information systems] / A.A. Varlamov, S.A. Galchenko. — Moscow : Kolos, 2006. — Vol. 6. — 400 p. [in Russian]
3. Vasnev I.I. Geoinformatsionnie sistemi v pochvovedenii i ekologii [Geographic information systems in soil studies and ecology] : educational and practical guide / I.I. Vasnev, Yu.L. Meshalkina, D.A. Grachev. — Moscow : Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2010. — 212 p. [in Russian]
4. Dokumentatsiya po programmnomu obespecheniyu NextGIS/QGIS [NextGIS/QGIS software documentation] // NextGIS/QGIS software. — 2025. — URL: <https://docs.nextgis.ru/> (accessed: 23.04.25). [in Russian]
5. Yeruntsova E.R. Ispolzovanie geoinformatsionnikh sistem v ekologii i prirodopolzovanii [Use of geographic information systems in environmental sciences] / E.R. Yeruntsova // Aktual'nye voprosy nauki i obrazovaniya: teoreticheskie i prikladnye aspekty [Current problems of science and education: fundamental and practical aspects] : proceedings of the International (correspondence) Scientific and Practical Conference. — Chisinau : Scientific Publishing Center "World of Science", 2018. — P. 181–185. [in Russian]

6. Isachenko A.G. Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe raionirovanie [Landscape studies and physical geographic zonation] / A.G. Isachenko. — Moscow : Publishing House "Higher School", 1991. — 366 p. [in Russian]
7. Kozlova A.A. Geoinformatsionnie tekhnologii v otsenke sostoyaniya lesnikh soobshchestv Srednego Povolzhya [Geoinformation technologies in assessing the state of forest communities in the Middle Volga region] / A.A. Kozlova // *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennyye i tekhnicheskie nauki* [Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences]. — 2023. — № 2. — P. 23–30. [in Russian]
8. Milkov F.N. Srednee Povolzhe: fiziko-geograficheskoe opisaniye [The Middle Volga: physical-geographic description] / F.N. Milkov. — Moscow : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1953. — 263 p. [in Russian]
9. Mininon I.L. Botanicheskaya geografiya Nizhnego Novgoroda [Botanical geography of Nizhny Novgorod] / I.L. Mininon // *The ecological centre "Dront"* [Environmental Center "Dront"]. — Nizhny Novgorod, 2024. — URL: <https://dront.ru/wp-content/uploads/2024/04/Botan.-geogr.-Nizh.-Novg-2024.pdf> (accessed: 10.04.25). [in Russian]
10. Natsionalnii atlas pochv Rossiiskoi Federatsii [National atlas of the Russian Federation soils]. — 2021. — URL: <https://web.archive.org/web/20201204082541/https://soil-db.ru/soilatlas/> (accessed: 10.04.25). [in Russian]
11. Perepelkina E.B. Izuchenie mineralnykh i organicheskikh komponentov vodoprochnykh agregatov gumusovo-akkumulyativnykh gorizontov seriy lesnykh pochv Srednego Povolzhya [Mineral and organic components of water-resistant aggregates of humus-accumulative horizons of gray forest soils in the Middle Volga] / E.B. Perepelkina. — Kazan : Kazan State University Publishing House, 2004. — 125 p. [in Russian]
12. Russian Federation. Lesnoi plan Nizhegorodskoi oblasti na 2019–2028 gg. [Forest plan of the Nizhny Novgorod Region for 2019-2028] : [adopted by the Federal Forestry Agency for the Nizhny Novgorod Region on 2018-12-27]. — 2018. [in Russian]