

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL

ВЫПУСК 4 (4) | 2025
ISSUE 4 (4) | 2025

ISSN 3033-6813

GEOINFORMATION MODELING

gmlgeo.ru

Научно-практический журнал

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Geoinformation modeling

Выпуск 4 (4), 2025

Р е д а к ц и о н н ы й с о в е т:

М. Р. Вагизов, доктор технических наук, доцент (главный редактор),
Н. В. Меламед, кандидат технических наук, доцент (зам. гл. редактора)
Е. П. Истомин, доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник науки и высоких технологий РФ
Е. Н. Черемисина, доктор технических наук, профессор
С. П. Присяжнюк, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РФ
А. С. Алексеев, доктор географических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ
А. В. Матерухин, доктор технических наук, профессор
В. А. Григорьев, доктор технических наук, профессор, президент Северо-Западного отделения Академии инженерных наук имени А. М. Прохорова
Х. Г. Мусин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан, заслуженный лесовод РФ
А. М. Заяц, кандидат технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Санкт-Петербурга
В. Г. Бурлов, доктор технических наук, профессор, почётный наставник
Д. А. Ковалёв, кандидат технических наук, доцент
А. С. Дурова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
П. И. Кузин, кандидат технических наук, доцент

Учредитель:
Автономная некоммерческая организация по развитию
природного потенциала территорий «Уникальные ландшафты»

Адрес редакции: г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Ульянка,
ул. Стойкости, д. 37, литера А. пом.56
E-mail: geogml@bk.ru
Сайт: https://www.gmlgeo.ru

Издатель: «Евразийское Информационное Агентство»
(EIA Global Media Group).
Подписано в печать: 26.12.2025

Технический редактор: Лысенко И. А.
Редактор: Мартын К. А.

ISSN 3033-6813

© АНО РППТ УНЛАНД, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ

Варфоломеева А.К., Вагизов М.Р., Леонов Е.Л. Геоинформационное моделирование речной сети: задачи, возможности и перспективы 3

Новикова М.А., Новиков Я.А. Геопространственное моделирование структуры березняков в Тверской области 13

Старинчиков В.Д., Габышев Г.Е, Палагутин Д.А. Анализ динамики площади Ленинградской области пригодной для выпаса скота по данным дистанционного зондирования земли 20

Никифорова А.А., Табунщик В.А. Анализ динамики типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа как показатель качества окружающей среды 27

РАЗДЕЛ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СТАТИСТИКА

Галанов А.Э., Гимгина Е. Д. Проблемы верификации баз данных лесного хозяйства .36

РАЗДЕЛ ГЕОЭКОЛОГИЯ

Табунщик В.А., Никифорова А.А., Змерзлая А.Б. Энтропия распределения хлорофилла-а (chl-a) в приповерхностном слое морской воды Карского моря в летний период 49

Данилова Е.В. Гидропонные установки и их влияние на сельское хозяйство (часть 2)57

Дурова А.С. Сравнительный анализ микроэлементного состава удобрений, зарегистрированных в государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов (2025 г.) 64

РАЗДЕЛ ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ

SECTION GEOINFORMATICS, CARTOGRAPHY

УДК 004.6:551.46

Варфоломеева А.К., Вагизов М.Р., Леонов Е.Л.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОЙ СЕТИ: ЗАДАЧИ, ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Варфоломеева Амина Кирилловна
студентка 3 курса,
кафедра прикладной информатики
Институт информационных систем и геотехнологий
Российский Государственный Гидрометеорологический университет
Санкт-Петербург
azzzigdreams@gmail.com

Вагизов Марсель Равильевич
Проректор по информационным технологиям и цифровой трансформации,
Институт информационных систем и геотехнологий
Российский Государственный Гидрометеорологический университет
Санкт-Петербург
bars-tatarin@yandex.ru

Леонов Евгений Леонидович
Генеральный директор автономной некоммерческой
организации по развитию природного потенциала
территорий «Уникальные ландшафты»
Инженер геофизик
Санкт-Петербург
unland@internet.ru

Аннотация. *Данная статья рассматривает возможности геоинформационного моделирования речных систем и приводит решение одной из проблем региона Республика Крым с использованием технологий ГИС и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Приведены примеры успешного внедрения систем на основе цифровых двойников в сферу управления водопользования речных систем.*

Ключевые слова: *ГИС, цифровые двойники, моделирование речных систем.*

GIS MODELING OF RIVER NETWORKS: CHALLENGES, POTENTIAL, AND PROSPECTS

Abstract. *This article examines one of the methods for modelling the microclimate of river systems and presents a possible solution to a problem in the Republic of Crimea using GIS and remote sensing technologies. It provides examples of the successful implementation of digital twin-based systems in river system water management.*

Keywords: *GIS, digital twins, river system modelling.*

Введение. Речные экосистемы — это динамичные сети, связывающие сушу с океаном. В отличие от озер, здесь главную роль играет течение (лотический режим), которое постоянно перемешивает питательные вещества, кислород и осадочные породы. Они имеют четырехмерную природу, поэтому их нельзя рассматривать как линию на карте: продольное измерение – связь «исток – устье», энергия течет вниз, а не наверх, латеральное – связь «русло – пойма», важна для нереста рыб и обмена органикой в паводках, вертикальное измерение – обмен между руслом и слоем песка и гравия под дном для фильтрации воды, временное – фактор изменчивости реки в зависимости от сезона и многолетних циклов [11, 12].

Они используются человеком как:

- Источник пресной воды для питья,
- Для выработки электроэнергии (ГЭС),
- В сельском хозяйстве для орошения земель, используемых под аграрные нужды,
- Крупные реки являются важными транспортными артериями для перевозки грузов и людей,
- Для рыболовства.

Интенсивное использование человеком речных экосистем создало множество угроз. Последние несколько десятилетий наблюдается тенденция иссушения речных экосистем. Громкие случаи: Аральское море на границе Казахстана и Узбекистана [13] и река Волга [15]. Аральское море с 1960 года потеряло 75% воды и было разбито на несколько соленых водоемов в следствии массового забора воды из двух крупных рек, которые его питали, – Амударьи и Сырдарьи – для орошения хлопковых полей. Река Волга же страдает от загрязнений. Ежегодно туда сбрасывают около 6 миллиардов кубических метров сточных вод, которые содержат до 18 видов разных загрязняющих веществ [14]. Она имеет 3-4 уровень загрязнения, что объясняется неэффективностью работы очистных сооружений [15].

Загрязнение и интенсивное использование водных ресурсов – основные, но не единственные проблемы речных экосистем. На гидрологический режим также влияют строительство плотин и изменение климата в глобальном масштабе [16].

Моделирование речных систем – сложный процесс с рядом фундаментальных трудностей. Из-за многомерной природы и мультидисциплинарного подхода множество процессов сложно объединить в единую систему, данных мониторинга часто не хватает. В России есть пример успешного моделирования гидродинамики реки Северная Сосьва. Используя численное моделирование экосистемы, была создана «основа» для цифрового двойника участка реки, которое позволяет оценивать влияние антропогенных и климатических факторов [17].

Цифровые двойники – относительно новый тренд в сфере информационных технологий. Это модели, которые прогнозируют поведение реальных объектов или явлений в цифровой среде в режиме реального или около реального времени. Их использование не ограничивается только промышленной сферой и сферой информационных технологий. Фактически, цифровые двойники используются для моделирования во всех сферах экономической деятельности [2]. Сама разработка цифровых двойников дорогостоящая, но в долгосрочной перспективе имеет высокую окупаемость.

В условиях глобального потепления, сдвига границ сезонов и учащения количества природных аномалий, особую важность приобретает моделирование климата и природных ресурсов, такие как речные системы [5]. Важно учитывать, что разработка цифрового двойника не всегда является целесоообразной – для разработки требуются большие финансовые ресурсы и компетентные

специалисты, которых в данной нише до сих пор немного, но в мире уже есть примеры разработанных систем в сфере моделирования водных систем, работающих на основе цифровых двойников, которые уже оправдали себя. В Южной Корее разработали геоинформационную систему K-Twin SJ 2.0, основанную на цифровом двойнике. На основе геопространственных данных, технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта система помогает в улучшении управления плотинами и водосборными бассейнами. Анализ водосборного бассейна реки Сомджинган показывает, что существующая пропускная способность дренажной системы недостаточна для экстремальных наводнений [3]. В Китае была разработана платформа, которая помогает обойти ограничения, которые имеет обычное одномерное моделирование водных потоков и качества водных ресурсов. Интегрируя технологии двух и трехмерного моделирования, цифровой двойник помогает улучшить отслеживание речных загрязнений в городских реках и реках, важных для городской промышленности [4].

В России моделирование речных систем поможет в решении главных проблем – обмеление рек и дефицит пресной воды. Юг России, в особенности Республика Крым, страдает от дефицита пресной воды. Это обусловлено засушливым климатом полуострова, уходу горной воды глубоко под землю и загрязнение родников и русла рек [6]. Из-за этого водосборные хранилища не успевают наполниться водой. Дополнительная проблема – это резкие весенние заморозки на Юге России, которые повторяются в регионе с 2023 года. Весь агропромышленный комплекс Юга России только в 2025 году понес убытки на сумму около 200 миллионов рублей, а пострадали территории в размере 178 тысяч гектаров [1]. Разработка и использование цифровых двойников природно-технических систем освещается в работах авторов [9,10]. В целом, реализация проектов по создания цифровых геопространственных двойников именно проблемных территорий является важным шагом на пути к пониманию причинно-следственных связей возникновения сложившейся обстановки. Поскольку, такие двойники содержат себе разнородную геопространственную информацию позволяющую оценивать объект комплексно, а впоследствии принимать управленческие решения, обладая наиболее полными сведениями о состоянии территории.

Методы и моделирование. Для примера разработки цифрового двойника микроклиматических речных систем и экологического водопользования были взяты два водохранилища на полуострове Крым – Белогорское и Тайгинское.

Разработка цифрового двойника будет реализоваться с использованием циклической модели жизненного цикла ПО (рис.1.). Для начала требуется собрать первичный датасет, на основе которого будет создана первая версия цифровой модели рельефа и будет обучаться нейросеть. На первых этапах калибровка данных и верификация будет проводиться вручную, но в последующих итерациях система сама будет проверять себя. Дальнейшие данные для продолжения обучения будут получены после интеграции и запуска системы в эксплуатацию для уточнения данных для конкретной речной системы и улучшения прогнозов.

Так как цифровой двойник «живет», данный цикл будет повторяться многократно для улучшения результатов, выводимых системой.

Первые пробы разработки будут статичными и все расчеты сделаны вручную для демонстрации наглядности предназначения системы и ее будущих результатов.



Рисунок 1. Структурная схема разработки цифрового двойника
Figure 1. Block diagram of digital twin development

Для формирования границ объекта исследования, очертим границы водохранилищ и подключим базу данных речных систем HydroSHEDS HydroRIVERS (рис.2.) [8].

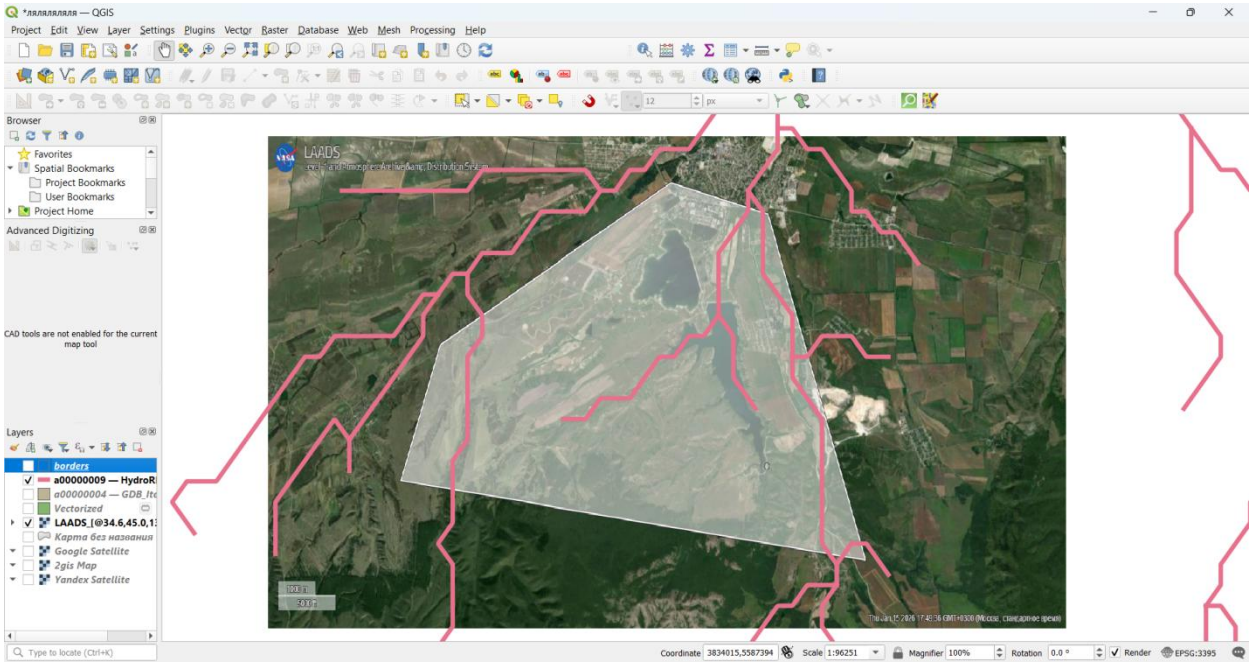


Рисунок 2. Границы территории исследования
Figure 2. Boundaries of the study area

Так как посадки напрямую влияют и на показатель водопользования, и на удержание грунтовых вод, то выделим на основе спутниковых снимков границы виноградных посадок (рис.3.).

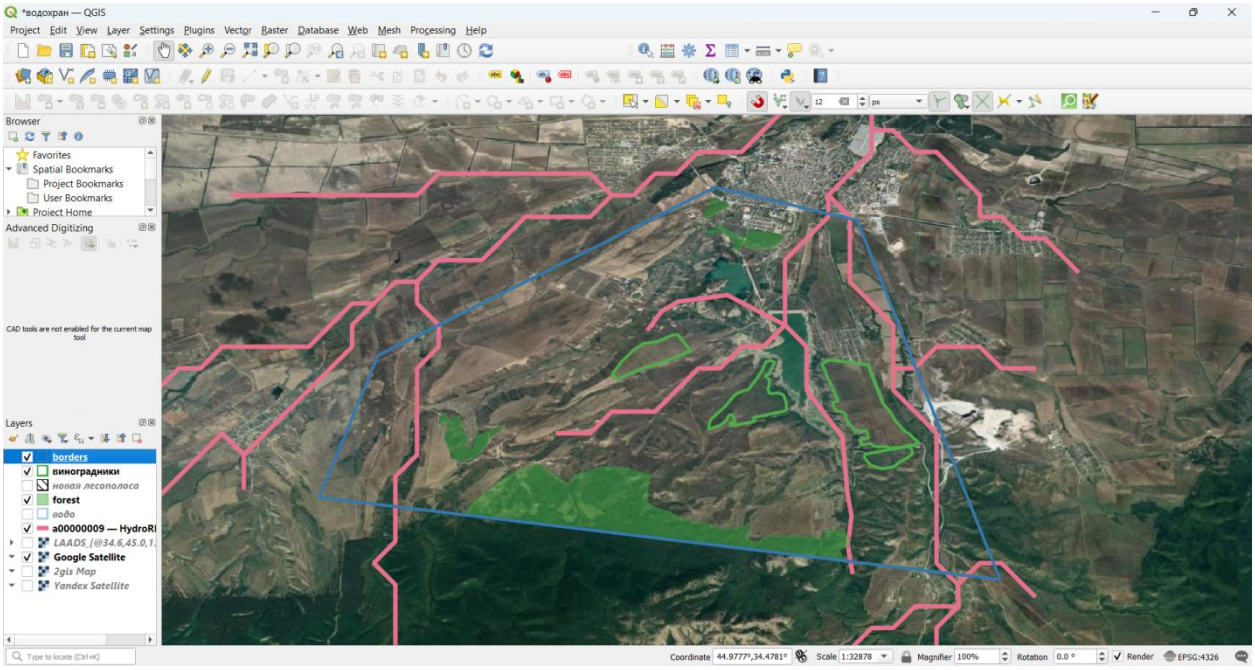


Рисунок 3. Границы посадок
Figure 3. Boundaries of plantations

На основе старых снимков можно понять, что нынешние водные границы не отражают реальный максимальный объем водохранилища, так что в проект добавим максимально найденные с помощью спутниковых снимков границы воды (рис.4.).

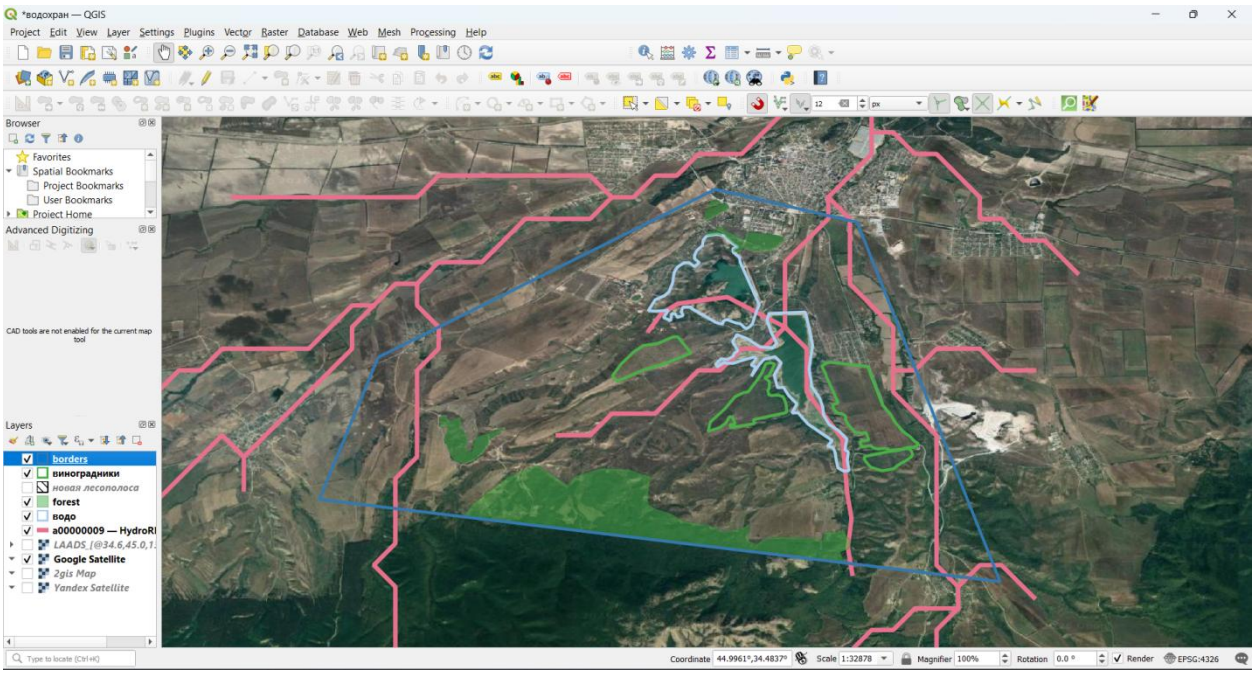


Рисунок 4. Очерченные максимальные границы водохранилищ
Figure 4. Outlined maximum boundaries of reservoirs

Перейдем в программу SNAP. Данные снимки взяты с сайта EarthData [8] и имеют не самое лучшее разрешение. Найдем и обозначим наш участок. Снимок уже готов и показывает индекс NDVI (рис.5.).

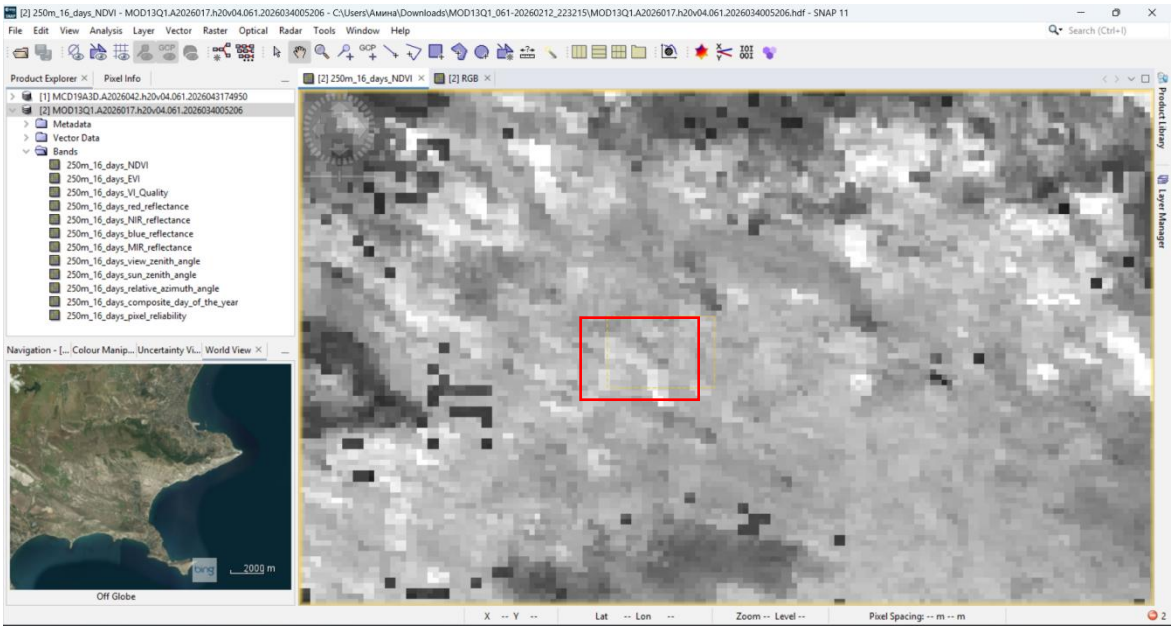


Рисунок 5. Границы участка
Figure 5. Site boundaries

Так как черно-белый снимок является недостаточно информативным, то просинтезируем изображение и проанализируем полученные данные (рис.6.).

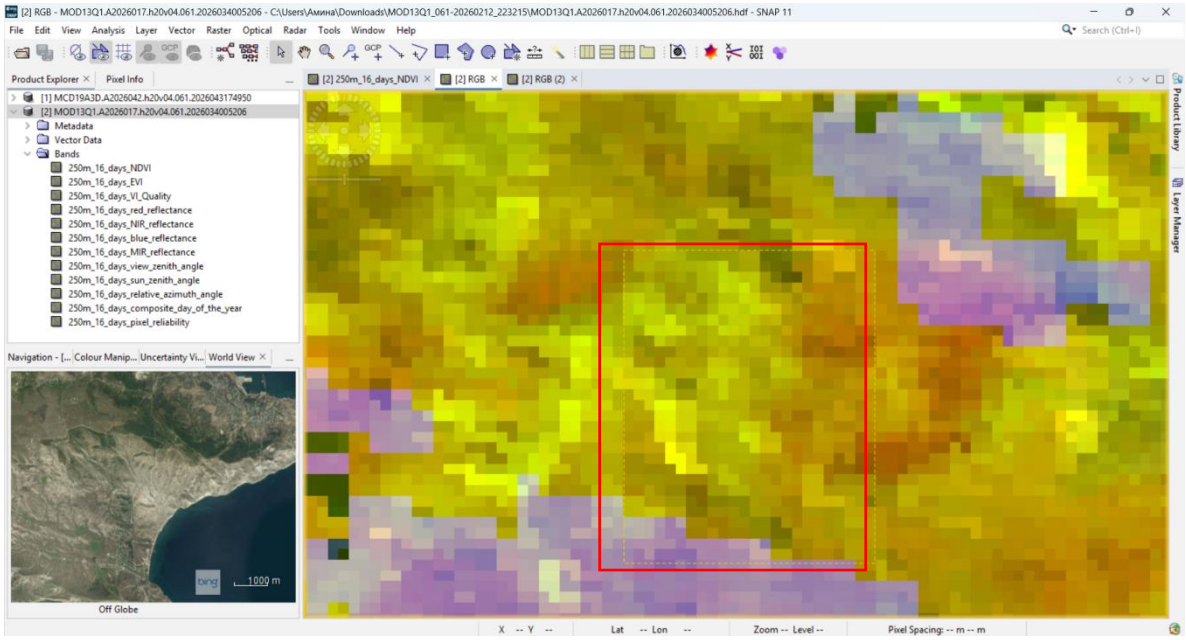


Рисунок 6. Синтезированный снимок
Figure 6. Composite image

Желто-коричневые оттенки на снимках часто указывают на сухие участки на снимке, это связано с тем, что влажная почва отражает свет иначе, чем сухая. Из этого следует, что почва в данном регионе достаточно сухая, следовательно и уровень грунтовых вод низкий.

Для решения данной проблемы предлагается высадка лесопосадок на максимально возможной границе водохранилища. При моделировании были учтены факторы водопользования водохранилищем для сельского хозяйства, поэтому важные дорожные пути не были засажены в целях обеспечения легкого доступа к водным ресурсам водохранилища (рис.7.).

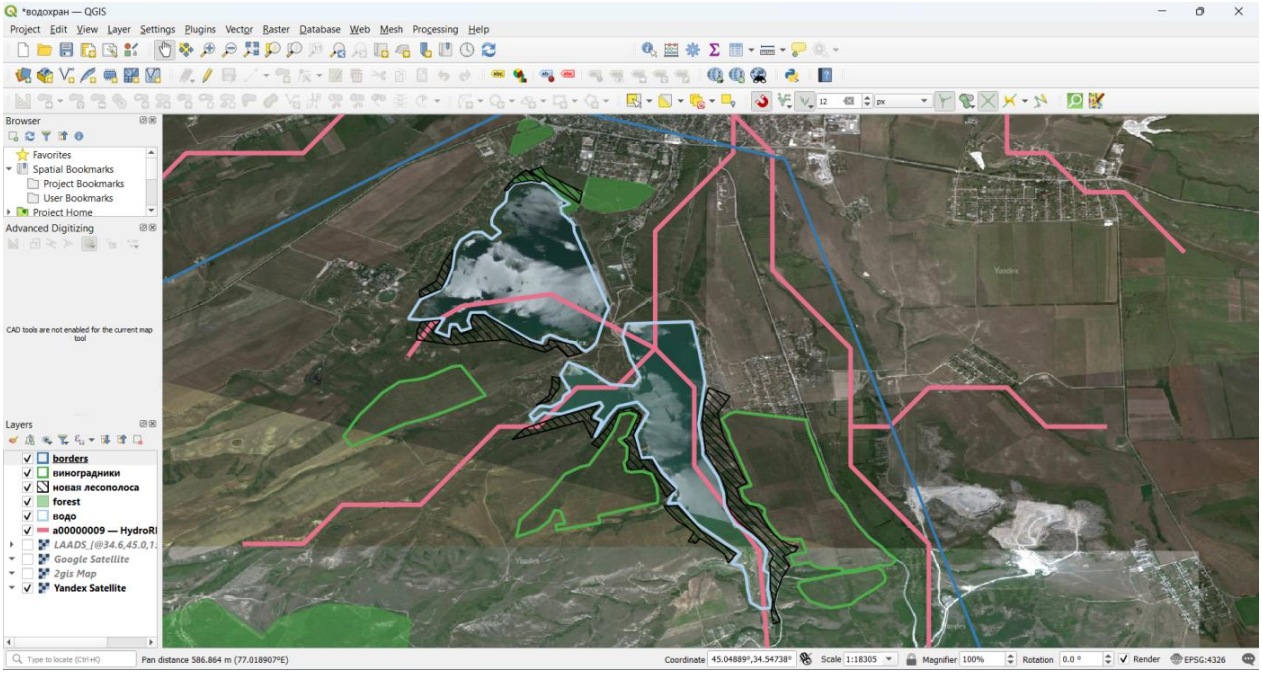


Рисунок 7. Зоны лесопосадок у водохранилища
Figure 7. Zones of tree plantings near the reservoir

Результаты. Используя спутниковые снимки со спутника MODIS и Landsat, программы QGIS и SNAP была создана интерактивная карта, которая подключена к базе данных речных систем HydroSHEDS – HydroRIVERS, которая показывает статическую модель водохранилища и схему высадки лесополос как возможный способы решения проблемы высыхания водохранилища. В рамках реализации полноценного цифрового двойника речных систем необходимы дополнительно следующие шаги:

1. Интеграция комплексной трёхмерной модели с особенностями рельефа территории.
2. Интеграция климатических баз данных с возможностью отображения основных климатических параметров.
3. Интеграция гидродинамических моделей водных объектов на территории с перспективой масштабирования от локального уровня (отдельное водохранилище) до регионального (речной бассейн), включая сценарное прогнозирование паводков, маловодий и последствий антропогенных воздействий на гидрологический режим.
4. Интеграция и передача информации с установленных на данной территории датчиков.

Спутниковые снимки, имеющиеся в открытом доступе, имеют слишком низкое разрешение для моделирования микроклиматических экосистем, но дают достаточно информации для примерного понимания обстановки, таких как состояние почвы и грунтовых вод. Для формирования полноценного цифрового двойника необходимо проведение аэрофотосъёмки с использованием самолёта или беспилотных авиационных систем (БАС).

В будущем проект может применяться не только для моделирования экосистемы водохранилища, но и реализовываться в более крупных масштабах, таких как моделирование речных систем рек разных масштабов и мелких озер. Используя предиктивные технологии, система

может прогнозировать наводнения и паводки с определением зон затопления и моделированием последствий. Заинтересованными лицами такого функционала могут быть МЧС и РосГидромет, которым важна оперативность получения данных и их точность. Из-за мультидисциплинарного подхода, система производит экологический мониторинг, например, оценка и уровень загрязнения рек в режиме реального времени, выявления источников загрязнения. Миграция рыб, оценка состояния прибрежных лесополос и поведение флоры и фауны рек – данные, которые могут быть полезны Министерству природы и Федеральной службе по надзору в сфере природопользования. Система сможет давать оценку состоянию протекания данных процессов, дополнительно оповещая о мерах, которые следует принять в случае неудовлетворенности системы показаниями.

Отдельно стоит выделить сценарий использования цифрового двойника для функции комплексного планирования работы инфраструктур, связанных с управлением водными ресурсами. Система сможет моделировать приток воды к плотинам, течение, уровень воды. Это поможет в организации сброса воды в водохранилищах, более точной оценке по объему выработанной электроэнергии на ГЭС. Судоходство и компании-организаторы данной услуги смогут полагаться на данные цифрового двойника для оценки безопасности навигации и будущему развитию беспилотного судоходства.

Использование технологий искусственного интеллекта в цифровом двойнике поможет местным органам власти в принятии стратегических решений по пользованию водных объектов и выстраиванию стратегий по восстановлению речных экосистем в целом, как это было на реке Волге, но имея более полную картину и наглядные данные о состоянии экологической ситуации объектов.

Заключение. Данный тестовый проект моделирования речной системы Тайгинского и Белогорского водохранилищ был создан с целью привлечения к проблеме обмеления данных водосборных бассейнов и как возможный пилотный проект по реализации в будущем цифрового двойника речной сети. В дальнейшем некоторые функции в системе могут быть автоматизированы и сделаны в виде цифрового двойника с экспертной системой, которая будет обрабатывать все поступающие данные и подсказывать лицам принимающие решения эффективные способы восстановления территории. Для макроклиматических речных систем будет достаточно данных, хранящихся в свободном доступе – их пространственное разрешение не повлияет на результаты моделирования. Однако микроклимат требует точечные данные, для получения которых могут понадобиться данные датчиков и высокопространственные спутниковые снимки сверхвысокого разрешения. Спутниковые снимки могут дополнять полученные с помощью использования беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и камер с датчиками LiDar при мультимасштабировании проекта. На основе этих данных будет создана более точная цифровая модель рельефа, которая позволит более точно предсказывать гидрологическую обстановку, а также поможет экспертам-гидрологам и экологам моделировать другие способы влияния на экосистему.

Система может быть не ограничена только моделированием водохранилищ, страдающих от засухи загрязнений, но и использоваться для восстановления в целом нарушенных природно-территориальных комплексов.

Список использованных источников

1. Убытки российских аграриев от заморозков в 2025 году: анализ ситуации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://graininfo.ru/news/ubytki-rossiyskikh-agrariev-ot-zamorozkov-v-2025-godu-analiz-situatsii/
2. Лихтциндер Б. Я., Ольберг П. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. - 2022. - №4. (76).

3. Пак Д., Ю Х. Цифровой двойник для управления плотинами и водосборными бассейнами // Water. - 2023. - №11. (2106).
4. Сю Я., Хуэй М., Цюй Х. Дизайн 3D платформы для оценки качества воды в городских реках на основе модели цифрового двойника // Water. – 2024. №16. (3668).
5. Толкачева В. Ф., Гарцман Б. И., Энтин А. Л. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА: ПРОБЛЕМА «КОРОТКИХ» ПРИТОКОВ // Гидросфера. Опасные процессы и явления. - 2024. - №2.
6. Батанина Е. В. Дефицит пресной воды на полуострове крым: проблемы и способы решения // Эпоха науки. - 2016. - №6.
7. EarthData [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.earthdata.nasa.gov/
8. HydroSHEDS – HydroRIVERS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.hydrosheds.org/products/hydrorivers
9. Костерева А. А. Проблемы геоинформационного моделирования объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга (часть 1) / А. А. Костерева, М. Р. Вагизов // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 64-74. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-64-74.
10. Вагизов М. Р. Технология и метод геоинформационного моделирования и управления лесными экосистемами : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Вагизов Марсель Равильевич, 2024. – 329 с.
11. Ваннот, Р.Л. и др. Концепция речного континуума. – 1980.
12. Вард Дж. В. Четырехмерная природа рек. – 1989.
13. Почему не удалось оздоровить Волгу? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pnp.ru/social/pochemu-ne-udalos-ozdorovit-volgu.html
14. Эффект плацебо или как оздоровить Волгу? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ecologyofrussia.ru/effekt-platsebo-ili-kak-ozdorovit-volgu/
15. Чен Ж., Яо Ц., Ван Я., Жао С., Салем А. Строительство плотин и геоэкологические последствия для дельт рек Янцзы, Нил и Миссисипи: перспективы управления // Климат и антропогическое влияние на процессы на поверхности Земли в эпоху антропоцена. – 2025. -- №18. – С. 297-311. – DOI 10.1016/B978-0-443-13215-5.00019-X.
16. Пушистов П., Алсынбаев К., Чемляков Н., Вторушин М., Ермаков И., Данилин А., Болгова В., Казарина О., Лисовский Д. Численное моделирование пространственно-временной структуры гидродинамики и характеристик качества воды реки Северная Сосьва // Оптика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 19, №11.

References

17. Russian farmers' losses from frost in 2025: analysis of the situation [Electronic source]. – Access mode: https://graininfo.ru/news/ubytki-rossiyskikh-agrariev-ot-zamorozkov-v-2025-godu-analiz-situatsii/
18. Lichtzinder B., Olberg P. Modelling and digital twins // Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical Sciences. – 2022. №4. (76).
19. Park, D.; You, H. A Digital Twin Dam and Watershed Management Platform. // Water – 2023. - №15. – (2106).
20. Xu, Y.; Hui, M.; Qu, H. Design of a 3D Platform for the Evaluation of Water Quality in Urban Rivers Based on a Digital Twin Model. // Water. – 2024. №16. – (3668).
21. Tolkacheva V., Gartsman B., Entin A. MODELING OF A RIVER NETWORK BASED ON A DIGITAL ELEVATOR MODEL: THE PROBLEM OF "SHORT" TRIBUTARIES // Hydrosphere. Hazardous Processes and Phenomena. - 2024. - №2.

22. Batanina E. Fresh water shortage on the Crimean Peninsula: problems and solutions // Epoch of Science. - 2016. - №6.
23. EarthData [Electronic source]. – Access mode: https://www.earthdata.nasa.gov/
24. HydroSHEDS – HydroRIVERS [Electronic source]. – Access mode: https://www.hydrosheds.org/products/hydrorivers
25. 9. Kostereva A. A. Problems of geoinformation modeling of cultural heritage objects of landscape architecture of St. Petersburg (part 1) / A. A. Kostereva, M. R. Vagizov // Bulletin of SSUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies). - 2025. - Vol. 30, No. 4. - Pp. 64-74. - DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-64-74.
26. Vagizov M. R. Technology and method of geoinformation modeling and management of forest ecosystems: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Vagizov Marsel Ravilievich, 2024. - 329 p.
27. Vannote, R. L., et al. The River Continuum Concept. – 1980.
28. Ward, J. V. The Four-Dimensional Nature of River Ecosystems. – 1989.
29. Why they failed to recover the Volga River? [Electronic source]. – Access mode: https://www.pnp.ru/social/pochemu-ne-udalos-ozdorovit-volgu.html
30. The Placebo Effect, or How to Restore the Health of the Volga River? [Electronic resource]. – Access mode: https://ecologyofrussia.ru/effekt-platsebo-ili-kak-ozdorovit-volgu/
31. Chen Z., Yao Q., Wang Y., Zhao X., Salem A. Dam construction and geo-ecological responses of the Yangtze, the Nile, and the Mississippi River deltas: Management perspectives // Climate and Anthropogenic Impacts on Earth Surface Processes in the Anthropocene. - 2025. -- No. 18. - P. 297-311. - DOI 10.1016/B978-0-443-13215-5.00019-X.https://ao.iao.ru/ru/content/text?vol=19&issue=11&num=5
32. Pushistov P., Alsynbaev K., Chemlyakov N., Vtorushin M., Ermakov I., Danilin A., Bolgova V., Kazarina O., Lisovsky D. Numerical modeling of the spatio-temporal structure of hydrodynamics and water quality characteristics of the Severnaya Sosva River // Optics of the atmosphere and ocean. - 2006. - V. 19, No. 11.

GIS MODELING OF RIVER NETWORKS: CHALLENGES, POTENTIAL, AND PROSPECTS

Varfolomeeva Amina K.,
3nd year student,
Department of Applied Informatics
Institute of Information Systems and Geotechnologies
Russian State Hydrometeorological University
Saint Petersburg
E-mail: azzzigdreams@gmail.com

Vagizov Marsel R.,
Vice Rector for Information Technology and Digital Transformation,
Institute of Information Systems and Geotechnologies
Russian State Hydrometeorological University
Saint Petersburg
E-mail: bars-tatarin@yandex.ru

Leonov Evgeny L.,
Director General of the autonomous non-profit organization for the development of the natural potential of territories “Unique Landscapes”
Saint Petersburg
E-mail: unland@internet.ru

© Варфоломеева А.К., Вагизов М.Р., Леонов Е.Л., 2025

УДК 004.9:630

Новикова М.А., Новиков Я.А.

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БЕРЕЗНЯКОВ В ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

Новикова Мария Александровна
Кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры информационных систем и технологий
Институт леса и природопользования
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова
Санкт-Петербург
E-mail: masch-novikova@yandex.ru

Новиков Ярослав Александрович
аспирант 4 года обучения
кафедра лесоводства
Институт леса и природопользования
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова
Санкт-Петербург
E-mail: jaroslavnovikow@gmail.com

Аннотация. *В статье рассматривается геопространственная модель структуры березняков. Результаты построения геопространственной модели позволяют рассмотреть наглядно структуру березняка, в дальнейшем определить развитие экосистемы.*

Ключевые слова*: геомоделирование, геопространственное моделирование, лесные экосистемы, береза.*

GEOSPATIAL MODELING OF BIRCH FOREST STRUCTURES IN THE TVER REGION

Abstract. *This article examines a geospatial model of birch forest structure. The results of constructing this geospatial model provide a clear illustration of the structure of birch forests and enable the prediction of ecosystem development.*
Keywords: *geomodeling, geospatial modeling, forest ecosystems, birch.*

Введение. Тверская область входит в двадцатку самых лесных регионов России. 54,7% территории региона занято лесами, которые являются важнейшим природным, экономическим потенциалом и важнейшим стабилизирующим компонентом окружающей среды региона.

Регион занимает 1 место по площади лесов и 2 место по возможному объему заготовки древесины среди субъектов РФ Центрального федерального округа. Площадь земель лесного фонда по Тверской области составляет 4942,6 тыс. га. Общий запас древесины составляет 703,45 млн. куб. м.

Главные лесообразующие породы региона - ель, сосна, береза, осина, ольха, дуб. Основные древесные породы: хвойные - ель, сосна; мелколиственные - берёза бородавчатая и пушистая, осина, ольха, рябина, черемуха и ивовые - бредина, ветла, ракита; широколиственные - летний дуб, липа, клён, вяз, ясень [9]. Геоинформационное моделирование в лесном хозяйстве позволяет проводить мониторинг лесных массивов, планирование лесохозяйственных мероприятий, учет лесных ресурсов, анализ лесных данных, анализ изменения лесных экосистем, также позволяет предсказать как может выглядеть лес в будущем через 5, 10, 25 или 100 лет. [3,6].

В условиях южной тайги березняки – наиболее распространенная лесная растительная формация. Применение ГИС-технологий позволяет разработать методики выделения территориальных единиц разделения земной поверхности, в частности лесного покрова, однородных по ряду заданных показателей, снижая при этом влияние субъективного фактора [4].

Целью исследования является построение геопространственной модели березняка на примере березняка, расположенного в Тверской области.

Объект исследования. Объект исследования - березняк, сформировавшийся на заброшенных сельскохозяйственных землях вблизи деревни Круглуша, Бежецкого района в Тверской области. На рисунке 1 представлен снимок расположения объекта исследования. Объект исследования выделен черным прямоугольником, как видно на рисунке 1 объект находится не далеко от деревни, что позволяет провести полное таксационное описание объекта и создать его цифровую модель.



Рисунок 1. Объект исследования
Figure 1. Object of study

Данные сельскохозяйственные земли расположены рядом с деревней Круглуша. Раньше использовались для посева зерновых культур, в 1990-е их перестали вспахивать и засевать, таким образом они стали зарастать березой, ольхой и ивой козьей, таким образом за 30 лет на этих землях сформировались березняки возрастом примерно 25-30 лет. Геопространственная модель построена

на примере одного из таких березняков. В таблице 1 представлены таксационные характеристики объекта исследования.

Таблица1. Таксационные характеристики объекта исследования
Table 1. Taxation characteristics of the study subject

Наименование	состав	Высота, м	Возраст, лет	Кол-во шт/га
древостой	10Б	15	30	173
подрост	7Б3Олс+С	1,5	10	367
подлесок	9Ивк1Ябл	5	10	133
Живой напочвенный покров	Злаки, иван чай, земляника, вероника дубравная, полынь горькая, крапива двудомная			

Материалы и методика исследования. Для создания геопространственной модели проводились полевые исследования с полным описанием таксационных характеристик, таких как состав, высота, средний диаметр и полнота древостоя, а также использовались программа Blender, GoogleEarthPro, BlenderGis, Adobe Photoshop 2020.

Результаты. Геопространственная модель дает наглядность, то есть достоверное воспроизведение естественных процессов, протекающих в лесу [5, 6].

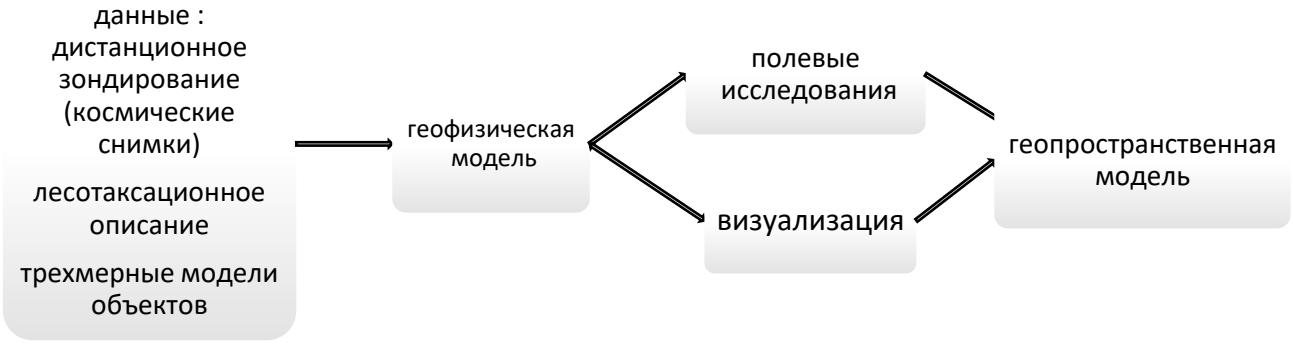


Рисунок 2. Компоненты геопространственной модели
Figure 2. Components of the geospatial model

Подготовка материалов для построения модели включает 3 компонента:

Первым компонентом являются данные, сюда входят дистанционное зондирование, отбирались космические снимки; лесотаксационное описание: высота, диаметр, возраст и состав древостоя; создание трехмерных моделей деревьев.

Вторым является геофизическая модель, которая строится на основе полевых исследований и визуализации объекта исследования, также создается база данных по объекту исследования.

Третий компонент – это геопространственная модель. Создается на основе геофизической модели.

На рисунке 3 представлен космический снимок объекта исследования. Для создания геопространственной модели были пронумерованы деревья на снимке для того, чтобы в точности отобразить пространственную структуру березняка.



Рисунок 3. Объект исследования на карте
Figure 3. Research object on the map

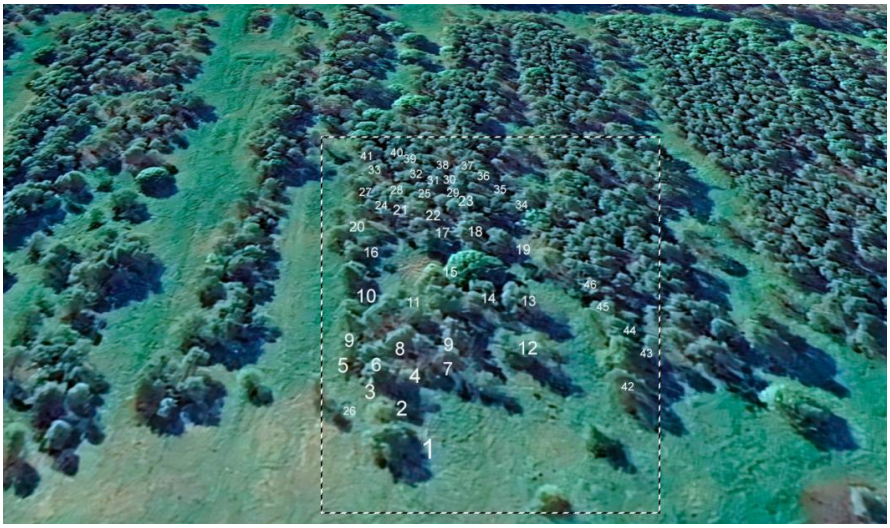


Рисунок 4. Нумерация деревьев на участке леса
Figure 4. Numbering of trees in a forest area

Для построения модели были использованы снимки из космоса через программы Google Earth Pro (рис.4) и Google maps (рис.3). На карте выделили участок, на котором проводились исследования и пронумерованы деревья (рис.4), так легче создать модель распределения деревьев на участке.

При использовании полевых данных и снимков с нумерацией деревьев была построена трехмерная модель березняка в программе Blender. На рисунке 5 представлен образец геопространственной модели березняка на территории.

Важнейшими задачами сопровождения принятия управленческих решений являются предоставление комплексной информации о состоянии лесных ресурсов, отображение динамики хода роста, оценка факторов, влияющих на рост березы. В части применения технологий геоинформационного моделирования для указанных задач используется вывод геоинформации с координированным выводом и структурированной архитектурой пространственно распределённых данных [1, 2].

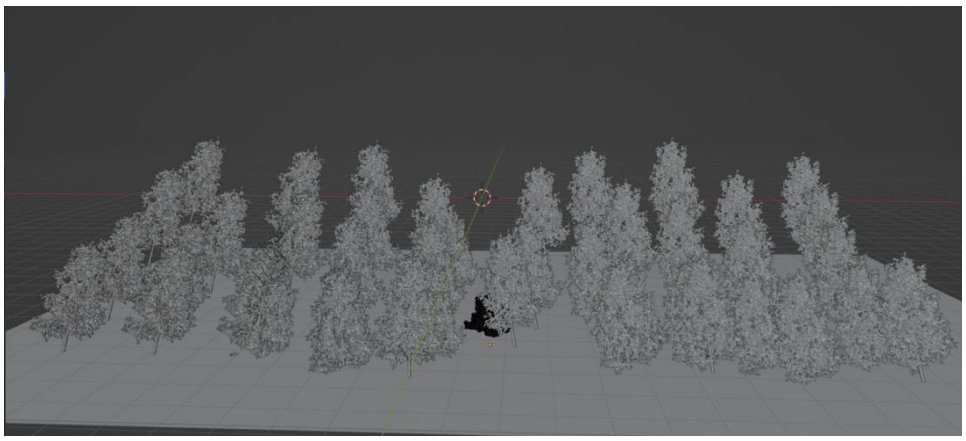


Рисунок 5. Модель березняка
Figure 5. Birch forest model

В данную модель можно интегрировать базы данных описания леса при лесоустроительных работах, в ней можно отобразить, таким образом, состав древостоя, в данной модели состав 100% береза, высоту, диаметр, возраст древостоя и полноту, также тип лесорастительных условий.

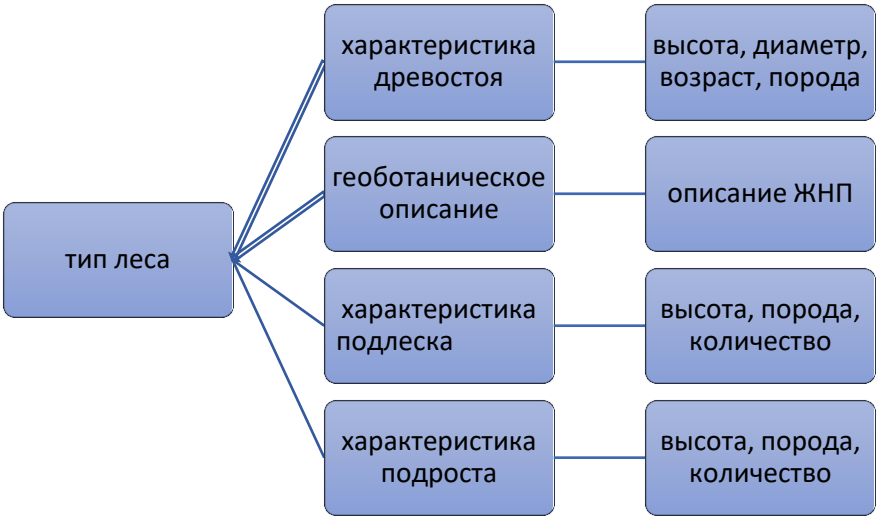


Рисунок 6. Схема базы данных лесного участка
Figure 6. Forest plot database diagram

На рисунке 6 приведен пример схемы базы данных, в ней учтены все характеристики лесного участка и составляющие тип леса. На основе данной схемы можно будет совершенствовать геопространственную модель березняка и любого другого лесного участка.

Заключение. Результаты построения геопространственной модели позволяют рассмотреть наглядно структуру березняка, в дальнейшем определить развитие экосистемы. Полученные геоинформационно-картографические модели и статистические данные могут являться основой для принятия управленческих решений в сфере лесного хозяйства и лесопользования, организации и ведения мониторинга, и направлены, в конечном счете, на решение задач оптимизации регионального природопользования. Разработка геопространственных моделей разных типов леса позволят на их основе создать наглядные электронные карты.

Список использованных источников

1. Бенгерт А.А., Биденко С.И., Доценко С.М., Звездарёв Д.В., Миляков Д.Ф., Михеев В.Л., Храмов И.С. Геоконтроллинг и моделирование рисковой территориальной активности / под ред. проф. С.И. Биденко.– СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2025.– 263 с
2. Вагизов М.Р., Лобачева В.А. Особенности геоинформационного моделирования при мониторинге лесовосстановления // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции. - СПб, 2023. С. 194-196.
3. Вагизов М.Р. Геоинформационное моделирование лесной экосистемы // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2023. Т. 28. № 6. С. 45-56.
4. Герасимова Т.А. Применение геоинформационного моделирования и геоинформационного проектирования в деятельности лесного хозяйства. / Герсимова Т.А., Мерзук С.А., Вагизов М.Р. – Информационные системы и технологии: теория и практика. – СПб.: 2023. – вып.15.- С.38-44
5. Данилова И.В. Алгоритм автоматизированного картографирования современного состояния динамики лесов на основе ГИС/ Данилова И.В., Рыжкова М.А., Корец М.А. / Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. Том 8, вып.4.2010. – С.15-24
6. Трапезенко Е.А., Вагизов М.Р. Перспективы применения геоинформационной модели территории в линдуловской рощи / Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – СПб. - №3. - 2024 – С.52-60.
7. Попов Н.Л. Лесовосстановление в России: текущее состояние и пути развития / Известия санкт-петербургского государственного экономического университета №5(131). – 2021. – С.198-202
8. Официальный сайт Тверской области [Электронный ресурс]. URL: https://тверскаяобласть.рф/tverskaya-oblast/kharakteristika-territorii/lesnye-resursy-tverskoy-oblasti/?print=y&ysclid=mghsgebgp4519627008 (Дата обращения: 10.11.2025)
9. Google maps [Электронный ресурс]. URL: https://www.google.com/maps/@57.5569075,36.3404452,1336m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI2MDIwNC4wIKXMDSoKLDEwMDc5MjA2OUgBUAM%3D (Дата обращения: 12.12.2025)
10. Google Earth [Электронный ресурс]. URL: https://earth.google.com (Дата обращения: 12.12.2025).

Reference

1. Bengert, A.A., Bidenko, S.I., Dotsenko, S.M., Zvezdarev, D.V., Milyakov, D.F., Mikheev, V.L., & Khramov, I.S. (2025). *Geocontrolling and Modeling of Risk Territorial Activity* (S.I. Bidenko, Ed.). St. Petersburg: Publishing House of SPbETU "LETI", 263 p.
2. Vagizov, M.R., & Lobacheva, V.A. (2023). Features of geoinformation modeling in reforestation monitoring. In *Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education. Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference* (pp. 194–196). St. Petersburg.
3. Vagizov, M.R. (2023). Geoinformation modeling of the forest ecosystem. *Vestnik SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 28(6), 45–56.
4. Gerasimova, T.A., Merzuk, S.A., & Vagizov, M.R. (2023). Application of geoinformation modeling and geoinformation design in forestry activities. *Information Systems and Technologies: Theory and Practice*, (15), 38–44. St. Petersburg.
5. Danilova, I.V., Ryzhkova, M.A., & Korets, M.A. (2010). Algorithm for automated mapping of the current state of forest dynamics based on GIS. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 8(4), 15–24.
6. Trapezenko, E.A., & Vagizov, M.R. (2024). Prospects for applying a geoinformation model of the territory in the Lindulovskaya Grove. *Information Technologies and Systems: Management, Economics, Transport, Law*, (3), 52–60. St. Petersburg.
7. Popov, N.L. (2021). Reforestation in Russia: Current state and development paths. *Proceedings of the St. Petersburg State University of Economics*, (5/131), 198–202.
8. Official website of the Tver Region. (n.d.). Forest resources of the Tver Region. Retrieved November 10, 2025, URL: https://тверскаяобласть.рф/tverskaya-oblast/kharakteristika-territorii/lesnye-resursy-tverskoy-oblasti/?print=y&ysclid=mghsgebgp4519627008
9. Google Maps. (n.d.). [Map data]. Retrieved December 12, 2025, URL: https://www.google.com/maps/@57.5569075,36.3404452,1336m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI2MDIwNC4wIKXMDSoKLDEwMDc5MjA2OUgBUAM%3D
10. Google Earth. (n.d.). Retrieved December 12, 2025, URL: https://earth.google.com

GEOSPATIAL MODELING OF BIRCH FOREST STRUCTURES IN THE TVER REGION

Novikova Maria A.,
Associate Professor
Department of Information Systems and Technologies
Department of Forest Taxation, Forest Management and Geoinformation Systems,
St. Petersburg State Technical University named after S.M. Kirov
Saint-Petersburg
Email: masch-novikova@yandex.ru

Novikov Yaroslav A.,
3rd-year PhD student
Department of Forest Taxation, Forest Management and Geoinformation Systems,
St. Petersburg State Technical University named after S.M. Kirov
Saint-Petersburg
Email: jaroslavnovikow@gmail.com

© Новикова М.А., Новиков Я.А., 2025

УДК 528.9

Старинчиков В.Д., Габышев Г.Е, Палагутин Д.А.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПЛОЩАДИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИГОДНОЙ ДЛЯ ВЫПАСА СКОТА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Старинчиков Владимир Дмитриевич
Студент 4 курса бакалавриата ИИСиГТ
Кафедра прикладной информатики РГГМУ
Санкт-Петербург
E-mail: vladimir.starincikov@gmail.com

Габышев Герман Евгеньевич
Студент 4 курса бакалавриата ИИСиГТ
Кафедра прикладной информатики РГГМУ
Санкт-Петербург
E-mail: german.gabishev@mail.ru

Палагутин Дмитрий Александрович
Генеральный директор
ООО «Мясной клуб»
Санкт-Петербург
E-mail: ceo@eia.media

Аннотация. *Статья посвящена исследованию тренда изменения площади территорий, пригодных для выпаса крупного рогатого скота в Ленинградской области. Цель работы – оценка масштабов и направленности динамики земель, пригодных для выпаса. На основе статистической информации определены основные тенденции стагнации и дана их количественная характеристика. Результаты исследования могут быть использованы для планирования в сфере АПК и разработки мер по устойчивому развитию животноводства в регионе.*

Ключевые слова: *Ленинградская область, выпас скота, пастбища, анализ временных рядов, геоинформационный анализ, тренд, сельскохозяйственные угодья.*

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF THE AREA OF THE LENINGRAD REGION SUITABLE FOR GRAZING CATTLE BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA

Abstract. *The article investigates the trend of changes in the area of pastureland for cattle in the Leningrad Region. The purpose of the work is to assess the scale and direction of the dynamics of land used for grazing. Based on statistical information, the main trends (reduction, growth, stagnation) are identified and their quantitative characteristics are provided. The research results can be used for planning in the agro-industrial complex and for developing measures for the sustainable development of livestock farming in the region.*

Keywords: *Leningrad Region, cattle grazing, pastures, time series analysis, geoinformation analysis, trend, agricultural land.*

Введение. Развитие животноводства – ключевой отрасли агропромышленного комплекса – напрямую зависит от кормовой базы, основу которой в летний период составляют природные пастбища. В современных условиях устойчивое использование этих угодий становится критически важным.

Для Ленинградской области, где молочное скотоводство имеет стратегическое значение, мониторинг земель, отведенных под выпас крупного рогатого скота (КРС), особенно актуален. Сельскохозяйственные ландшафты региона за последние десятилетия значительно изменились под влиянием экономических факторов и природных процессов. Системный анализ динамики пастбищных площадей позволяет оценить текущий потенциал кормопроизводства, выявить негативные тенденции и своевременно принять управленческие решения. Таким образом, исследование тренда изменения площадей, пригодных для выпаса скота является важной научно-практической задачей, необходимой для обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития АПК области.

Целью данного исследования является выявление, количественная оценка и анализ тренда изменения площади территорий, пригодных для выпаса скота на территории Ленинградской области за ретроспективный период с 2010 по 2024 год.

Материалы исследования. В качестве нормативной базы, определяющей территории, где выпас скота запрещён, использован КоАП РФ:

- ст. 11.21 — за прогон через автодороги вне специально отведённых мест,
- ст. 8.26 — за выпас на землях лесного фонда и в иных запретных зонах,
- ст. 10.6 — за нарушение ветсанправил.

«Зоны запрета» заданы этими нормами, а «пригодные для выпаса» территории выделены по данным OSM для Ленинградской области и включают:

- луга и сельхозугодья,
- явно обозначенные как пастбища,
- естественные травянистые участки с разрешённым выпасом,
- ограждённые загоны и огороженные пастбищные площади,
- муниципальные или публичные пастбища с открытым либо разрешительным доступом,
- поля, где выращиваются кормовые травы, сено или иной фураж.

Так разделены пространства, где выпас возможен, и территории, где он нормативно исключён.

Методика работы. В качестве источника данных был выбран OpenStreetMaps по причине обширного функционала, а также большого пространственного и временного охвата геоданных. Обработка выполнялась в QGIS 3.28 «Firenze», с использованием встроенных алгоритмов Processing (GDAL 3.6, GRASS 8.2).

Рисунок 1 иллюстрирует разработанный алгоритм сбора и обработки пространственных данных для оценки площади территорий, пригодных для выпаса скота на территории Ленинградской области. Алгоритм состоит из нескольких последовательных этапов. в и кормовых полей. Затем проводится фильтрация данных (исключение земель лесного фонда, придорожных полос и иных запретных зон), в заключении - топологическая коррекция и расчёт площадей в QGIS и агрегация по годам данных.

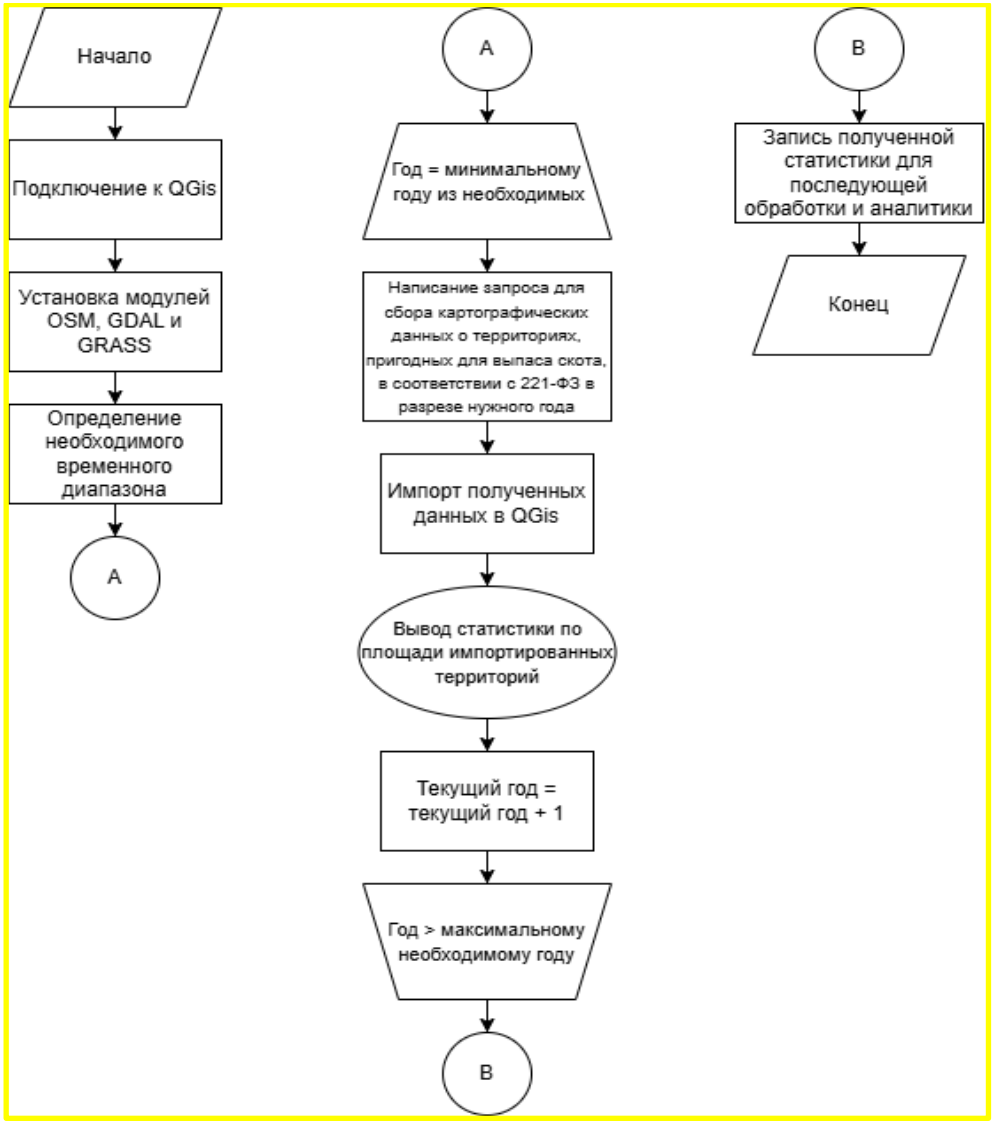


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма сбора данных
Figure 1. Data collection algorithm flow chart

В результате проделанной работы получаем таблицу с ежегодными замерами площади территорий, пригодных для выпаса скота в Ленинградской области (табл.1.).

Таблица 1. Динамика территорий территорий пригодные для выпаса

Table 1. Dynamics of areas suitable for grazing

Год	Территории, пригодные для выпаса (тыс. га)
2010	125.6882
2011	125.8026
2012	125.7016
2013	125.6311
2014	125.4596

2015	125.5168
2016	125.5739
2017	125.4596
2018	125.5719
2019	125.5168
2020	125.4124
2021	125.5123
2022	125.4596
2023	125.4511
2024	125.3853

На рисунке 2 в масштабе всего региона показана общая конфигурация земель, пригодных для выпаса, с преобладанием таких площадей в южной части Ленинградской области. Рисунок 3 (крупный масштаб, 1:200 000) детализирует структуру угодий, демонстрируя их мозаичный, фрагментированный характер, что создаёт дополнительные ограничения для организации выпаса и мониторинга пастбищной нагрузки.

Сопоставление двух масштабов представления позволяет сделать вывод, что уменьшение общей площади пастбищ в регионе сопровождается не только количественным сокращением, но и усилением пространственной раздробленности оставшихся пригодных территорий, что важно учитывать при разработке мер по сохранению кормовой базы.

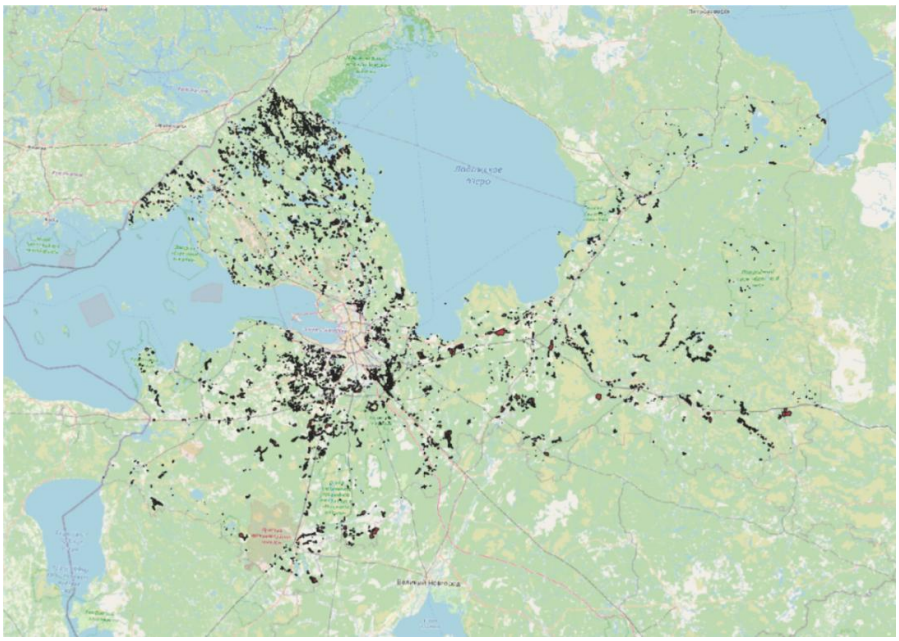


Рисунок 2. Распределение территорий, пригодных для выпаса в разрезе года (1:5.500.000)
Figure 2. Distribution of areas suitable for grazing throughout the year (1:5.500.000)

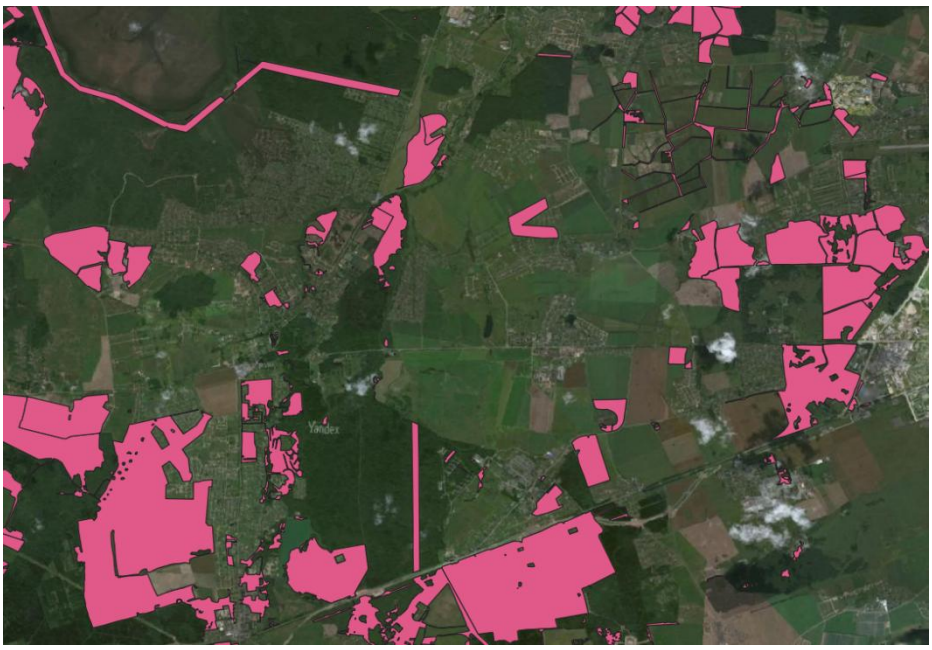


Рисунок 3. Распределение территорий, пригодных для выпаса в разрезе года (1:200.000)
Figure 3. Distribution of areas suitable for grazing throughout the year (1:200.000)

Методика. Методика оценки временной зависимости основывалась на двух сводных показателях — тренде и корреляции со временем. Для выявления тренда применялись:

1. Тест Дики-Фуллера, проверяющий наличие единичного корня и, тем самым, направление устойчивого изменения ряда.
2. Линейная регрессия, где время выступало независимой переменной, для количественной оценки корреляции.

Оба статистических инструмента являются классическими и обеспечивают компактное, воспроизводимое описание динамики показателей.

Обработка статистических данных.

Таблица 2. Результат ADF-теста

Table 2. ADF Test Result

Статистика	p-value	Значимо/Не значимо
-3.47	0.08	Незначимо (тренд есть)

Таблица 3. Результат линейной регрессии

Table 3. Linear Regression Result

Параметр	Оценка	Ст. отклонение	t	p-value	Значимо/Не значимо
Bias	125.7	0.04	3200	0	Значимо
Год	-0.02	0.05	-4.2	0.01	Значимо (корреляция есть)

$R^2 = 0.58$

Доверительный интервал оценки годового влияния - [-0.031, -0.010]. Ноль не попадает в доверительный интервал, значит не нулевая корреляция доказана на заданном уровне значимости.

Ниже приведен график (рис.4.), отображающий наблюдения и линию тренда, построенную линейной регрессией:

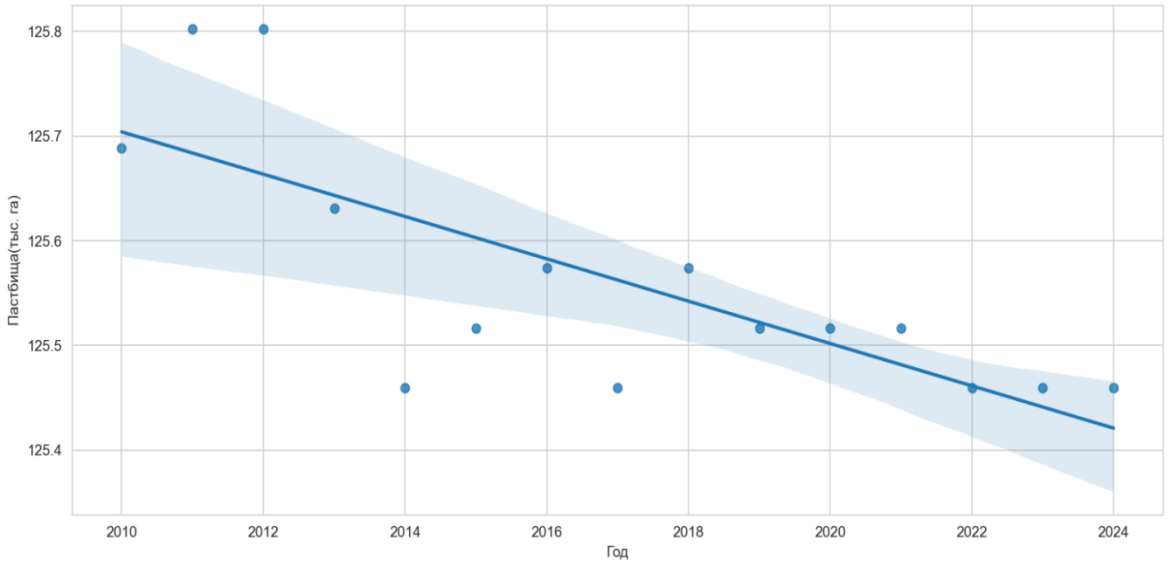


Рисунок 4. Линия тренда, описывающая тенденцию площади территории
Figure 4. A trend line describing the trend of a territory's area

Заключение. Проведенное исследование динамики площади пастбищных угодий для крупного рогатого скота в Ленинградской области за период 2010–2024 гг. позволило выявить статистически значимый отрицательный тренд. Оба примененных аналитических метода – тест Дики-Фуллера и линейный регрессионный анализ – подтвердили наличие устойчивой тенденции к сокращению.

Выявленная тенденция является системной и заслуживает внимания. Постепенное сокращение кормовой базы, даже в незначительных масштабах, в долгосрочной перспективе может создать угрозу для устойчивого развития молочного скотоводства – стратегически важной отрасли для региона.

В этой связи необходимы целенаправленные управленческие решения, направленные на инвентаризацию и мониторинг состояния существующих кормовых территорий, а также на разработку программ по их сохранению и рациональному использованию. Для повышения точности будущих прогнозов и аналитики критически важно совершенствовать систему сбора и предоставления официальной сельскохозяйственной статистики, обеспечивая ее полноту и регулярность.

Список использованных источников

1. Комитет по природным ресурсам Ленинградской области – https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/ohrana-i-monitoring-okruzhayushej-sredy/ (дата обращения: 15.11.2025)
2. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. – 3rd ed. – Melbourne: Otexts, 2021. – URL: https://otexts.com/fpp3/ (дата обращения: 15.11.2025).

3. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An Introduction to Statistical Learning: with Applications in Python. – Springer, 2023. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-38747-0 (дата обращенията: 15.11.2025)
4. Михалева, С. Д. Изучение Мухинского болота с использованием дешифрирования данных космических снимков / С. Д. Михалева, М. Р. Вагизов, И. И. Гайфуллин // Информационные системы и технологии : Сборник научных трудов. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2025. – С. 160-168. – EDN CDVYIA.
5. Десктопное приложение для автоматизированной геопривязки данных дистанционного зондирования Земли / К. А. Мартын, В. Д. Троицкий, В. А. Лобачева, М. Р. Вагизов // Сборник научных трудов Совета молодых учёных СПбГЛТУ : Сборник статей. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2024. – С. 81-86. – EDN YIKLYQ.
6. Суровикина А. П. Слабунова А.В. Актуальность применения геоинформационных систем (гис) для современной оценки степени деградации сельскохозяйственных земель // Экология и водное хозяйство. — 2021 – doi: 10.31774/2658-7890-2021-3-2-75-86
7. Юсупов Б.Н. Очилов Ш.Ш. О ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ // Экономика и социум – 2023
8. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Регионы России. Социально-экономические показатели. 2025: Стат. Сб. — М.: Росстат, 2025. — URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (дата обращения: 15.11.2025).

Reference

1. Committee for Natural Resources of the Leningrad Region - https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/ohrana-i-monitoring-okruzhayushej-sredy/ (date of request: 15.11.2025)
2. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. – 3rd ed. – Melbourne: OTexts, 2021. – URL: https://otexts.com/fpp3/ (date of request: 15.11.2025).
3. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An Introduction to Statistical Learning: with Applications in Python. – Springer, 2023. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-38747-0 (date of request: 15.11.2025)
4. Mikhaleva, S. D., Vagizov, M. R., & Gaifullin, I. I. (2025). Studying the Mukhinskoye Bog Using the Interpretation of Satellite Imagery Data. In Information Systems and Technologies: Collection of Scientific Works (pp. 160-168). Saint Petersburg: Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov. – EDN CDVYIA.
5. Martyn, K. A., Troitsky, V. D., Lobacheva, V. A., & Vagizov, M. R. (2024). A Desktop Application for Automated Georeferencing of Remote Sensing Data. In Collection of Scientific Works of the Council of Young Scientists of SPbFTU: Collection of Articles (pp. 81-86). Saint Petersburg: Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov. – EDN YIKLYQ.
6. Surovikina, A. P., & Slabunova, A. V. (2021). RELEVANCE OF USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) FOR MODERN ASSESSMENT OF THE DEGREE OF DEGRADATION OF AGRICULTURAL LANDS. Ecology and Water Management, (3-2), 75-86. doi: 10.31774/2658-7890-2021-3-2-75-86
7. Yusupov, B. N., & Ochilov, Sh. Sh. (2023). ON EARTH REMOTE SENSING DATA. Economics and Society

8. Federal State Statistics Service (Rosstat). (2025). Regions of Russia. Socio-Economic Indicators. 2025: Statistical Compendium. Moscow: Rosstat. – URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (accessed: 15.11.2025).

Starinchikov Vladimir Dmitrievich
4th-year Bachelor student, IISiGT
Department of Applied Informatics, Russian State Hydrometeorological University
Saint Petersburg
E-mail: vladimir.starincikov@gmail.com

Gabyshev German Evgenevich
4th-year Bachelor student, IISiGT
Department of Applied Informatics, Russian State Hydrometeorological University
Saint Petersburg
E-mail: german.gabishev@mail.ru

© Старинчиков В.Д., Габышев Г.Е., Палагутин Д.А., 2025

УДК 581.5:502.3(470.661)

Никифорова А.А., Табунщик В.А.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ТИПОВ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В БАССЕЙНЕ РЕКИ СУНЖА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Никифорова Александра Александровна
м.н.с. Лаборатории ландшафтной экологии и геоматики
Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ)
Россия, г. Севастополь
E-mail: nikiforova_a@ibss-ras.ru

Табунщик Владимир Александрович
Кандидат географических наук,
с.н.с. Лаборатории ландшафтной экологии и геоматики
Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ)
Россия, г. Севастополь
E-mail: tabunshchyk@ibss-ras.ru

Аннотация. *Представлен анализ динамики типов наземного покрова бассейна реки Сунжа за период 1992–2020 гг. как интегрального показателя качества окружающей среды. Исследование выполнено на основе долгосрочных спутниковых данных проекта CCI Land Cover с применением геоинформационных методов и бассейнового подхода. Выявлена чёткая пространственная дифференциация трансформации ландшафтов, обусловленная сочетанием физико-*

географических условий и антропогенной нагрузки. Установлено, что наиболее интенсивные изменения характерны для северных равнинных агроландшафтов (пашня, пастбища) и центральной части бассейна, где наблюдается сокращение лесного покрова и рост урбанизированных территорий. Относительно стабильные природные комплексы сохранились в труднодоступных высокогорных районах на юге. Полученные результаты свидетельствуют о том, что динамика наземного покрова является репрезентативным индикатором антропогенного воздействия и устойчивости экосистем, а выявленные тренды указывают на снижение средообразующих и регуляторных функций ландшафтов в ключевых зонах бассейна. Материалы исследования могут быть использованы для разработки стратегий устойчивого природопользования и территориального планирования в трансграничном регионе.

Ключевые слова: *ДЗЗ, наземный покров, бассейн реки, геоинформационные системы.*

ANALYSIS OF LAND COVER TYPE DYNAMICS IN THE SUNZHA RIVER BASIN (RUSSIA) AS AN INDICATOR OF ENVIRONMENTAL QUALITY

Abstract. *This study analyzes land cover dynamics in the Sunzha River basin from 1992 to 2020 as an integral indicator of environmental quality. The research is based on long-term satellite data from the CCI Land Cover project, utilizing GIS methods and a basin-scale approach. The results reveal distinct spatial differentiation in landscape transformation, driven by a combination of physiographic conditions and anthropogenic pressure. The most intensive changes were identified in the northern plain agro-landscapes, dominated by rainfed cropland and pastures, and in the central part of the basin, which exhibited forest cover loss and urban expansion. Relatively stable natural ecosystems persist in the inaccessible highland areas in the south. The findings demonstrate that land cover dynamics serve as a representative indicator of anthropogenic impact and ecosystem resilience. The observed trends signal a decline in the environmental and regulatory functions of landscapes in key zones of the basin. The research materials can support the development of sustainable land management and spatial planning strategies for this transboundary region.*

Keywords*: Remote sensing of the Earth, land cover, river basin, geographic information systems.*

Введение. В настоящее время ландшафты изменяются под воздействием комплекса факторов, включая, как процессы естественного развития, так и многостороннего антропогенного воздействия, что может ставить под угрозу устойчивость природных систем, составляющих среду обитания человеческого общества. Информация о динамике наземного покрова в пределах определенной территории в том числе и речного бассейна играет важную роль для принятия управленческих решений в сторону компромисса между социально-экономическим развитием общества и сохранением природных систем [1]. Речные бассейны играют первоочередную роль в жизни человека. Говоря об изменении наземного покрова, следует иметь в виду, что учёт влияния речных бассейнов и их трансграничной и транзитной роли является одним из наиболее важных аспектов изучения землепользования с точки зрения устойчивого использования ресурсов [2].

Анализ динамики типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа представляет собой важный инструмент для интегральной оценки качества окружающей среды и устойчивости ландшафтов данного трансграничного региона. Наземный покров, будучи наблюдаемым биофизическим покрытием земной поверхности, служит ключевым индикатором, чутко

реагирующим на комплексное воздействие как природных, так и антропогенных факторов. Его трансформации напрямую влияют на способность экосистем обеспечивать жизненно важные услуги, включая регулирование гидрологического режима, сохранение биоразнообразия и поддержание качества почв и воздуха. В условиях бассейна реки Сунжа, охватывающего разнородные физико-географические условия от высокогорий Большого Кавказа до равнин Предкавказья и включающего территории нескольких субъектов Российской Федерации, мониторинг динамики землепользования приобретает особую значимость для разработки согласованных стратегий природопользования.

Целью данной статьи является анализ многолетней спутниковой информации (1992–2020 гг.) для проведения количественной оценки пространственно-временной динамики типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа и определения ее роли в качестве комплексного индикатора качества окружающей среды, выявляющего характер и интенсивность антропогенного воздействия, устойчивости природных комплексов и трансформации ключевых функций ландшафтов в условиях разнородных физико-географических и социально-экономических условий региона.

Методика. Данные о наземном покрове получены методами дистанционного зондирования из операционной системы обработки Европейского космического агентства (ESA) и Copernicus Climate Change Service [CCI Land Cover…, 2025; Land cover…,2025]. Мультиспутниковая стратегия CCI-LC трансформировала разрозненные данные в согласованный временной ряд, что позволило количественно оценить динамику земного покрова в контексте изменения климата и антропогенных воздействий. Основные характеристики используемого набора данных CCI Land Cover составляют - пространственное разрешение около 300 м, временное покрытие: 1992–2022. База имеет 22 основных класса наземного покрова по системе классификации UN-LCCS (United Nations Land Cover Classification System). Данные о типах наземного покрова были загружены с официального сайта [CCI Land Cover…, 2025], произведена их обрезка в ГИС по границе бассейна реки. Для каждого года было посчитано количество пикселей изображения занимаемого тем или иным классом наземного покрова.

Анализ региона. Река Сунжа является последним правым и наибольшим притоком р. Терек ее длина от истока до устья – 278 км, водосборная площадь – 12200 км2 [3, 4]. Исток р. Сунжа находится в районе Черных гор на водоразделе рек Камбилеевка и Асса в западной части передовых отрогов Лесистого хребта. Река Сунжа имеет сложную гидрографическую сеть, с более чем 6000 малых водотоков в высокогорной зоне. Истоки реки находятся на северном склоне Большого Кавказа, в Грузии. Крупные притоки, такие как Асса, Аргун и Белка, сформировали глубокую эрозионную сеть, прорезающую склоны хребтов (рис. 1.).

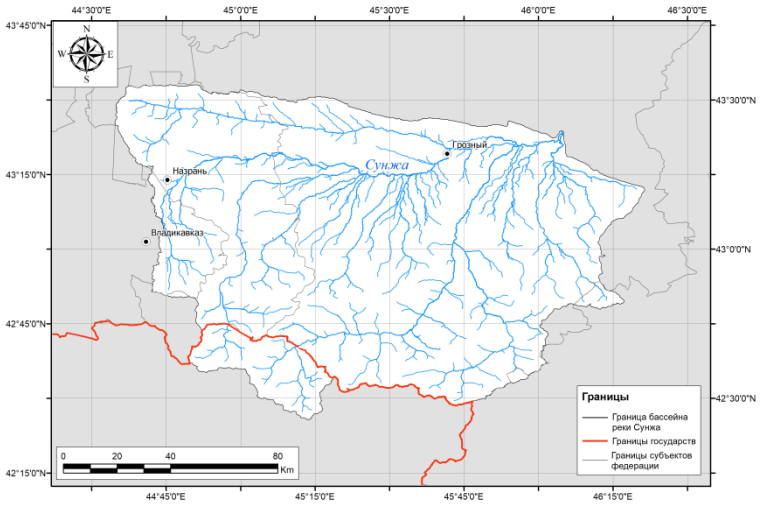
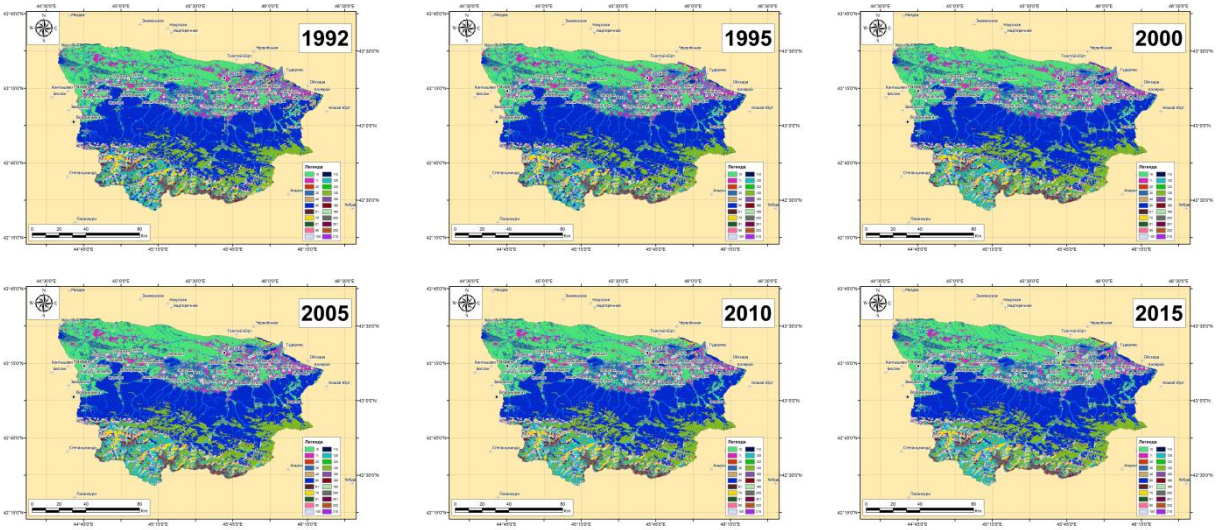


Рисунок 1 – Границы бассейна реки Сунжа.
Figure 1 – Boundaries of the Sunzha River basin.

Бассейн охватывает горные районы Восточного Кавказа, включая Центральный и Боковой хребты, водоразделы которых покрыты ледниками, а также равнинную часть Предкавказья [4]. Местонахождение бассейна в разных субъектах РФ и в Грузии (верховья Ассы и Аргуна – притоков Сунжи – лежат на территории Грузии) требует согласованных мер по адаптации к трансформации водного режима, динамике ландшафтов, использованию земель и условий проживания населения [5].

В северной части бассейн реки Сунжа охватывает территории, относящиеся к Республикам Северная Осетия-Алания и Ингушетия, где расположены города, населенные пункты Моздок, Малгобек, Беслан, Назрань и Владикавказ. Основная часть бассейна реки располагается на территории Чеченской Республики. Здесь отмечается наибольшая плотность населенных пунктов, среди которых выделяются города Грозный, Аргун, Шали, Гудермес и другие поселения, такие как Ассиновская, Ачхой-Мартан, Самашки, Курчалой и Ножай-Юрт. В южной части бассейн реки затрагивает горные районы, где населенные пункты представлены небольшими селениями, такими как Ведено, Ботлих, и Агвали. Гидрографическая сеть бассейна характеризуется разветвленной структурой, отражая горный и предгорный характер рельефа.

Результаты. В результате исследования получены карты пространственно-временной изменчивости и динамики типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа в 1992–2000 гг. (рис.2.).



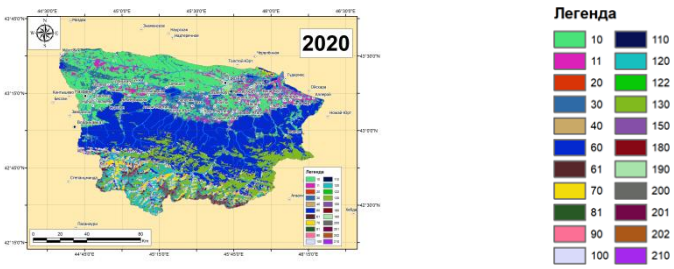


Рисунок 2 - Пространственное распределение динамики наземного покрова в бассейне реки Сунжа в 1992-2020 гг.

Figure 2 - Spatial distribution of land cover dynamics in the Sunzha River basin in 1992-2020

Условные обозначения: 10 - Пашня, неорошаемая; 11 - Пашня, неорошаемая с травянистым покровом; 20 - Пашня, орошаемая; 30 - Мозаичные пахотные земли (>50%) / естественная растительность (деревья, кустарники, травяной покров) (<50%); 40 - Мозаичная естественная растительность (>50%) / пашня (<50%); 60 - Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%); 61 - Лес, широколиственный, листопадный сомкнутый; 70 - Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%); 81 - Лес, игольчатый, лиственный; 90 - Лес, смешанный; 100 - Мозаичный древесно-кустарниковый (>50%) / травяной покров (<50%); 110 - Мозаичный травяной покров (>50%) / деревья и кустарники (<50%); 120 - Кустарники; 122 - Кустарники (лиственные); 130 - Пастбища; 150 - Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%); 180 - Кустарниковый или травяной покров, затопление, пресная/соленая/солоноватая вода; 190 - Урбанизированные территории; 200 - Открытая почва; 201 - Неуплотненная открытая почва; 202 - Консолидированные голые участки; 210 - Водные объекты. Составлено по материалам [6].

Анализ пространственной динамики наземного покрова в бассейне реки Сунжа, проведённый на основе данных Land Cover CCI за 1992–2020 гг., выявил чёткую географическую дифференциацию типов ландшафтов и их трансформацию под влиянием природных и антропогенных факторов. В северной части бассейна (районы Наурской, Червлённой, Толстой-Юрт) доминируют агроландшафты, представленные «Пашня, неорошаемая» (класс 10) и «Пастбища» (класс 130). Эта зона характеризуется максимальной антропогенной трансформацией.

Центральная часть бассейна (окрестности Гудермеса, Ойсхары, Аллероя) демонстрирует мозаичную структуру покрова с преобладанием класса «Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 60) и «Кустарники» (класс 120). Здесь зафиксированы наиболее значительные потери лесного покрова. Южные горные районы (Хебда, Пасанаури, Степанцминда) сохраняют относительно стабильные природные комплексы: «Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%)» (класс 150) и «Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 70).

Устойчивость этих ландшафтов обусловлена их низкой доступностью для хозяйственного освоения и природоохранным статусом отдельных территорий. Урбанизированные зоны (Грозный, Гудермес) выделяются резким ростом площади «Урбанизированные территории» (класс 190), что привело к фрагментации окружающих экосистем.

Наиболее значительные изменения наземного покрова в бассейне реки Сунжа (1992–2020 гг.) зафиксированы в северных равнинных районах (Наурская, Червлённая), где доминируют интенсивно

трансформируемые агроландшафты «Пашня, неорошаемая» (класс 10), «Пастбища» (класс 130), и в центральной части (Гудермес, Ойсхара); урбанизированные зоны (Грозный) демонстрируют высокий рост застроенных территорий «Урбанизированные территории» (класс 190). Наименее измененные территории — южные горные районы (Хебда, Пасанаури), где сохраняется относительная стабильность природных комплексов «Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%)» (класс 150), «Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 70) благодаря труднодоступности и природоохранному статусу.

Также, в результате исследования были получены графики изменения типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа в 1992–2020 гг. (рис.3-6).

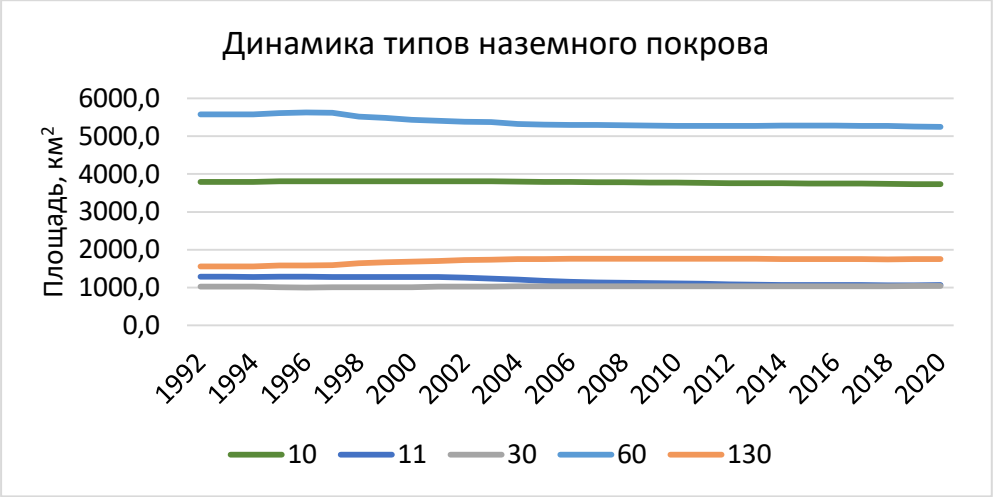


Рисунок 3 - Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа.

Figure 3 - Dynamics of land cover types in the Sunzha River basin.

«Пашня, неорошаемая» (класс 10); «Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 60); «Пашня, неорошаемая с травянистым покровом» (класс 11); «Мозаичные пахотные земли (>50%) / естественная растительность (деревья, кустарники, травяной покров) (<50%)» (класс 30); «Пастбища» (класс 130).

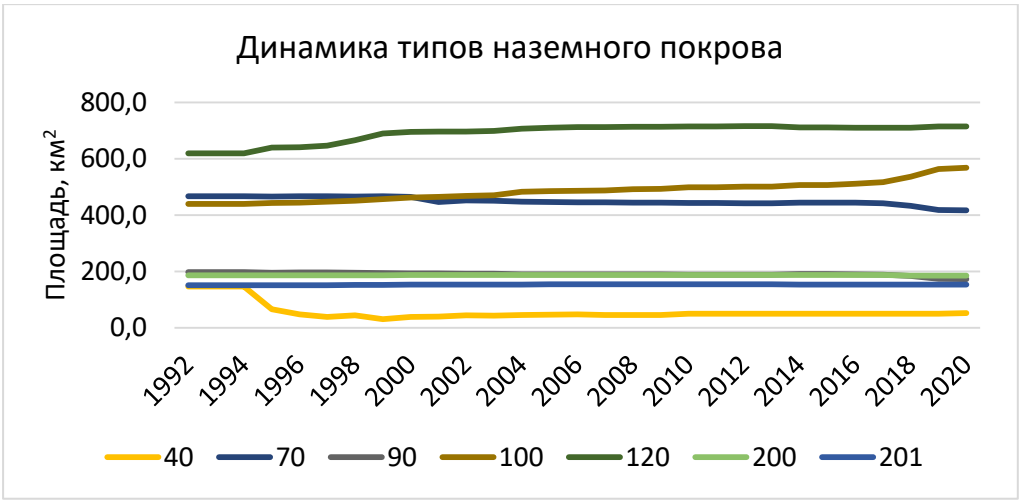


Рисунок 4 - Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа.

Figure 4 - Dynamics of land cover types in the Sunzha River basin.

«Мозаичная естественная растительность (>50%) / пашня (<50%)» (класс 40); «Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 70); «Лес, смешанный» (класс 90);

«Открытая почва» (класс 200); «Неуплотненная открытая почва» (класс 201); «Мозаичный древесно-кустарниковый (>50%) / травяной покров (<50%)» (класс 100); «Кустарники» (класс 120).

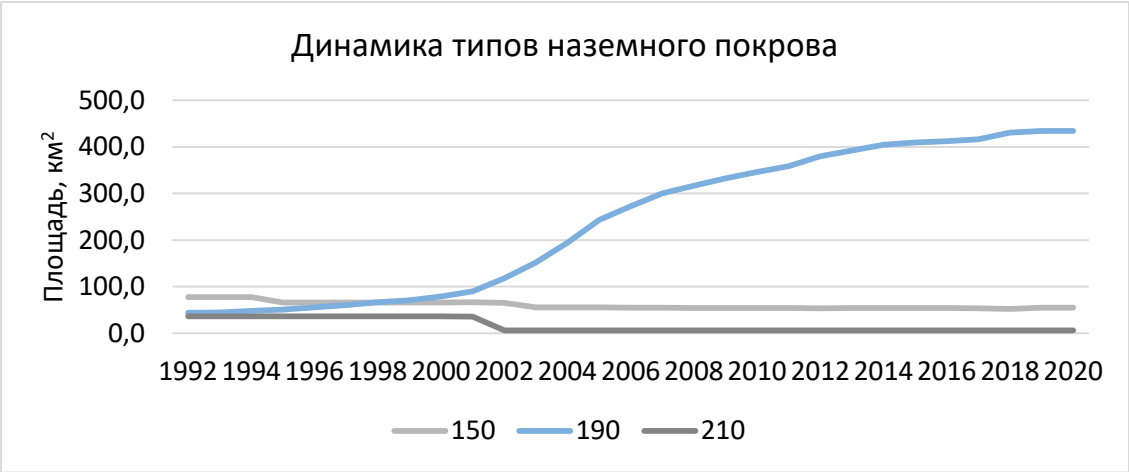


Рисунок 5 - Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Сунжа.

Figure 5 - Dynamics of land cover types in the Sunzha River basin.

«Урбанизированные территории» (класс 190); «Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%)» (класс 150); «Водные объекты» (класс 210).

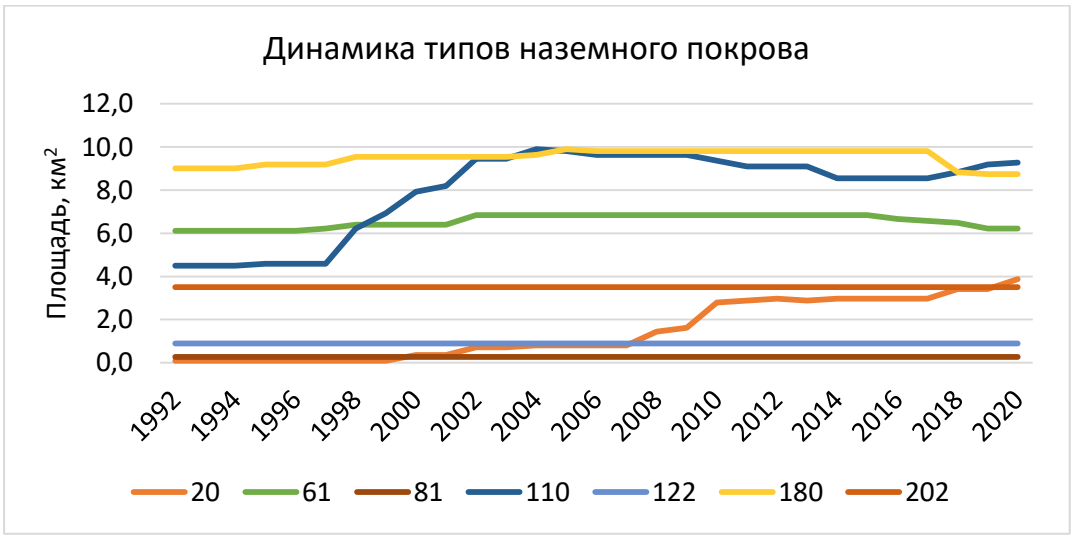


Рисунок 6- Динамика типов наземного покрова в бассейне реки.

Figure 6 - Dynamics of land cover types in the Sunzha River basin.

«Пашня, орошаемая» (класс 20); «Лес, игольчатый, лиственный» (класс 81); «Кустарники (лиственные)» (класс 122); «Лес, широколиственный, листопадный сомкнутый» (класс 61); «Мозаичный травяной покров (>50%) / деревья и кустарники (<50%)» (класс 110); «Кустарниковый или травяной покров, затопление, пресная/соленая/солоноватая вода» (класс 180); «Консолидированные открытые участки» (класс 202).

Анализ данных выявил выраженную дифференциацию трансформации наземного покрова, при этом наиболее значительные изменения наблюдались следующих классов: «Пашня, орошаемая» (класс 20) продемонстрировал большой рост, увеличившись с 1 км² до 43 км², что соответствует увеличению площади на 4200%. «Мозаичная естественная растительность (>50%) / пашня (<50%)» (класс 40) претерпел существенные изменения, его площадь сократилась с 1630 км² до 583 км², что

означает уменьшение на 64,2%; «Пастбища» (класс 130) показывает положительную динамику, увеличившись с 17319 км² до 19490 км², что соответствует росту на 12,5%. «Пашня, неорошаемая с травянистым покровом» (класс 11) сократился на -2444 км² (-17,1%). Наблюдается устойчивая тенденция постепенной деградации хвойных лесов на территории бассейна - «Лес, хвойный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 70) сократил свою площадь с 5191 км² до 4631 км², уменьшившись на 10,8%. «Лес, смешанный» (класс 90) показывает отрицательную динамику, аналогичную другим лесным классам. Его площадь сократилась с 2200 км²до 1925 км², что составляет уменьшение на 12,5%. «Лес, широколиственный, листопадный, от закрытого до открытого (>15%)» (класс 60) также уменьшился с 61930 км² до 58273 км², что соответствует потере 5,9% лесного покрова данного типа. «Кустарники» (класс 120) увеличил свою площадь с 6883 км² до 7936 км², демонстрируя рост на 15,3%; «Редкая растительность (древесная, кустарниковая, травяная) (<15%)» (класс 150) сократился с 861 км² до 607 км², уменьшившись на 29,5%. «Водные объекты» (класс 210) претерпел резкое сокращение площади со 402 км² до 65 км² в 2002 году, после чего их площадь стабилизировалась на этом уровне, общее уменьшение за период составило 83,8%. Минимальные изменения зафиксированы у следующих классов: «Лес, игольчатый, лиственный» (класс 81) и класс «Консолидированные голые участки» (класс 202), «Пашня, орошаемая» (20), «Кустарники (лиственные)» (класс 122) и «Лес, широколиственный, листопадный сомкнутый» (класс 61).

Бассейн реки Сунжа, являясь сложной природно-антропогенной системой, испытывает интенсивное и разнонаправленное воздействие, которое ставит под угрозу устойчивость ландшафтов и способность экосистем выполнять жизненно важные функции; выявленные в ходе исследования данные — такие как сокращение водных объектов (на 83,8%), значительная деградация всех типов лесных массивов (с потерями от 5,9% до 12,5%) и их замещение кустарниковой растительностью, а также рост орошаемой пашни на фоне сокращения пастбищ и мозаичных природно-антропогенных комплексов — служат интегральными индикаторами изменения качества окружающей среды, снижения водорегулирующего и почвозащитного потенциала территории и требуют учета бассейнового принципа для разработки сбалансированных стратегий природопользования в данном трансграничном и густонаселенном регионе.

Заключение. Проведенный анализ динамики типов наземного покрова бассейна реки Сунжа за период 1992–2020 гг. на основе данных дистанционного зондирования (Land Cover CCI) позволил выявить пространственно-временные закономерности трансформации ландшафтов, которые выступают интегральным индикатором изменений качества окружающей среды. Результаты свидетельствуют о выраженной географической дифференциации процессов, тесно связанной с физико-географическими условиями и интенсивностью антропогенного воздействия. Наибольшая динамика характерна для северных равнинных ландшафтов, где доминирование неорошаемой пашни и пастбищ указывает на устойчивую сельскохозяйственную нагрузку, ведущую к упрощению структуры покрова и потенциальным рискам деградации земель. В центральной части бассейна зафиксированы значительные потери широколиственных лесов, что наряду с ростом урбанизированных территорий вокруг крупных населенных пунктов приводит к фрагментации естественных экосистем и снижению их средостабилизирующих функций. Относительная стабильность покрова в южных высокогорных районах, сохраняющих природные комплексы редкой растительности и хвойных лесов, подчеркивает роль рельефа и ограниченной доступности в поддержании экологической устойчивости. Таким образом, выявленные тренды служат количественным отражением антропогенного воздействия: прогрессирующая трансформация и фрагментация естественного покрова в ключевых частях бассейна являются индикаторами снижения потенциала экосистем по обеспечению регуляторных услуг, включая водорегулирующие и почвозащитные функции, что в целом коррелируется с ухудшением качества окружающей среды.

Полученные данные обосновывают необходимость учета бассейнового принципа и пространственной неоднородности динамических процессов при разработке адаптивных стратегий природопользования, направленных на достижение баланса между хозяйственным освоением и сохранением экологического каркаса территории. Также, анализ данных выявил выраженную дифференциацию трансформации наземного покрова. На фоне значительной антропогенной интенсификации сельскохозяйственного использования земель, выразившейся в росте площадей орошаемой пашни (класс 20), произошло резкое сокращение мозаичных природно-антропогенных комплексов (класс 40) и неорошаемой пашни (класс 11), что сопровождалось устойчивой деградацией лесного покрова всех типов и замещением их кустарниковой растительностью, при этом изменению подверглись водные объекты, площадь которых сократилась, с последующей стабилизацией на минимальном уровне.

Список использованных источников

1. Линева, Н. П. Анализ динамики наземного покрова в пределах верховьев бассейна Р. Салгир (Крымский полуостров) / Н. П. Линева, В. А. Табунщик // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2023. Т. 9, № 4. С. 30-43. EDN YTYIHX.
2. Табунщик В. А., Никифорова А. А., Линёва Н. П., Мирзоева Н. Ю., Черный Г. С., Керимов И. А., Махмудова Л. Ш., Гагаева З. Ш., Андрончик Я. О. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2022 гг. // Биоразнообразие и устойчивое развитие. 2023. Т. 8, № 3 (27). С. 40-55. https://doi.org/10.21072/eco.2024.27.04
3. Мониторинг экологического состояния рек Чеченской Республики / М. Ш. Саидова, Х. Н. Асхабова, М. С. Оздыханов, К. А. В. Шуаипов // Юг России: экология, развитие. 2012. Т. 7, № 4. С. 113-115. EDN PYHOIL.
4. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Терек (российская часть бассейна) [Электронный ресурс]. URL: https://zkbvu.ru/upload/medialibrary/ee7/ee749f748202fb28fcd13535f9b56147.pdf (дата обращения: 10.01.2025).
5. Ландшафтно-геоэкологический каркас бассейна реки Сунжа / А. Н. Гуня, И. А. Керимов, У. Т. Гайрабеков, А. А. Никифорова // Устойчивое развитие горных территорий. 2024. Т. 16, № 4(62). С. 1450–1459. DOI 10.21177/1998-4502-2024-16-4-1450-1459. EDN: JCOZOC.
6. ESA Land Cover CCI [Электронный ресурс]. URL: https://www.esa-landcover-cci.org/ (дата обращения: 25.05.2025).

Reference

1. Lineva, N. P. Analysis of Land Cover Dynamics in the Upper Reaches of the Salgir River Basin (Crimean Peninsula) / N. P. Lineva, V. A. Tabunshchik // Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology. 2023. Vol. 9, No. 4. Pp. 30-43. – EDN YTYIHX.
2. Tabunshchik V. A., Nikiforova A. A., Lineva N. P., Mirzoeva N. Yu., Cherny G. S., Kerimov I. A., Makhmudova L. Sh., Gagaeva Z. Sh., Andronchik Ya. O. Dynamics of Land Cover Types in the Al-Asi (Orontes) River Basin in 2017-2022 // Biodiversity and Sustainable Development. 2023. Vol. 8, No. 3 (27). Pp. 40-55. https://doi.org/10.21072/eco.2024.27.04
3. Monitoring of the Ecological State of Rivers in the Chechen Republic / M. Sh. Saidova, Kh. N. Askhabova, M. S. Ozdykhanov, K. A. V. Shuaipov // South of Russia: Ecology, Development. 2012. Vol. 7, No. 4. Pp. 113-115. EDN PYHOIL.
4. Scheme for Integrated Use and Protection of Water Bodies in the Terek River Basin (Russian Part of the Basin) [Electronic resource].

URL: https://zkbvu.ru/upload/medialibrary/ee7/ee749f748202fb28fcd13535f9b56147.pdf (accessed: 10.01.2025).
5. Landscape and Geoecological Framework of the Sunzha River Basin / A. N. Gunya, I. A. Kerimov, U. T. Gairabekov, A. A. Nikiforova // Sustainable Development of Mountain Territories. 2024. Vol. 16, No. 4(62). Pp. 1450–1459. DOI 10.21177/1998-4502-2024-16-4-1450-1459. EDN: JCOZOC.
6. ESA Land Cover CCI [Electronic resource]. URL: https://www.esa-landcover-cci.org/ (accessed: 25.05.2025).

Nikiforova Alexandra A.
junior researcher Laboratory of Landscape Ecology and Geomatics
The A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas
Russia, Sevastopol
E-mail: nikiforova_a@ibss-ras.ru

Tabunshchyk Vladimir A.
PhD of Geographical Sciences,
senior researcher, Laboratory of Landscape Ecology and Geomatics
The A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas
Russia, Sevastopol
E-mail: tabunshchyk@ibss-ras.ru

© Никифорова А.А., Табунщик В.А., 2025

РАЗДЕЛ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СТАТИСТИКА

SECTION SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT, INFORMATION PROCESSING AND STATISTICS

УДК 004.658.6:004.652.42

Галанов А.Э., Гимгина Е. Д.

ПРОБЛЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ БАЗ ДАННЫХ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Галанов Александр Эдуардович
Инженер 1 категории
Филиал ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» «Сибирская лесная опытная станция»
г.Тюмень
E-mail: galanov@vniilm.ru

Гимгина Екатерина Дмитриевна
Инженер 1 категории
Филиал ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» «Сибирская лесная опытная станция»
г.Тюмень
E-mail: gimgina.ekaterina@gmail.com

Аннотация. *В работе рассматриваются актуальные проблемы и пути их решения в вопросах перехода от бумажных носителей информации к электронным форматам, используемым работниками леса и арендаторами земель лесного фонда РФ. Акцент делается на необходимости нивелирования локальных и региональных стандартов представления информации о лесах под видом «локальных шаблонов» и совершенствования единого информационно-логистического поля (ЕИЛП), в качестве которой выступает Федеральная государственная информационная система лесного комплекса (ФГИС ЛК), при интеграции, сборе, обработке и консолидации информации в электронных базах данных (эБД) центростремительной схемы. Проведен анализ существующих проблем и их решений с выявлением недостатков и предложением по их устранению при анализе действующих тенденций и моделей работы реляционных баз данных (РБД).*

Ключевые слова: *верификация баз данных, реляционные базы данных, единое информационно-логистическое поле, ФГИС ЛК, биологические системы.*

PROBLEMS OF VERIFICATION OF FORESTRY DATABASES

Abstract. *This paper analyzes current problems and ways to solve them in the context of the transition from paper media to electronic formats used by forestry workers and tenants of the lands of the forest fund of the Russian Federation. Special attention is paid to the need to eliminate local and regional standards for the presentation of information about forests in the form of «local templates», as well as to improve the unified information and logistics field (UILF), represented by the Federal State Information System of the Forestry Complex (FGIS LC). The paper analyzes existing problems and their solutions, identifies shortcomings and suggests ways to eliminate them based on an analysis of current trends and models of relational databases (RDB).*

Keywords: *database verification, relational databases, unified information and logistics field, FGIS LC, biological systems.*

Введение. Необходимость перехода с бумажных носителей информации к цифровым аналогам ее регистрации, хранения и передачи в след за научно-техническим прогрессом привела к бесконечному множеству электронных баз данных (эБД), которые могут иметь бесконечное количество связей с соседними БД и БД других инстанций. Данная проблема отразилась на вопросе формирования и содержания таких БД внутри единого информационно-логистического поля (ЕИЛП). На примерах экономико-логистической теории (информационной логистической системы) известно, что информация при ее миграции от первичного источника информации до другого занимает определенный путь по времени, в ходе которого информация способна измениться в отношении любого явления, процесса или внешнего мира – происходит деактуализация данных (устаревание), их искажение, потеря и фальсификация. Анализу данной проблемы посвящено достаточно много отечественных и зарубежных исследований, хотя, вероятно, что развитию проблемы послужила тенденция использования «локальных шаблонов». Каждая организация может позволить себе разработку собственной эБД с формированием реляционных таблиц из собственных показателей и значений, называемых «локальными шаблонами», информация с которых затем часто ограждается от пользователей. Подобный способ коммерческого использования информации и ее изоляции от неквалифицированных пользователей привел к расширению рынка услуг, увеличив разброс информации по локальным БД.

Наблюдаемая несистематичность в хранении информации, ее идентификации и актуализации привел к необходимости применения методов верификации БД, пытающиеся обеспечить возможную в современных условиях систематизацию и взаимодействие БД, запуская процесс, своего рода, самоверификации, когда БД должна проверять информацию с иных источников при помощи их интеграции и использования ключей, что подчеркивает актуальность исследования.

При проработке проблемы нами была сформулирована цель исследования – анализ методов верификации БД при их взаимодействии на примере биологических систем лесного хозяйства.

Задачи исследования:

1. Проанализировать научную теоретическую литературу по проблеме исследования;
2. Проанализировать используемые БД, их специфические особенности и области приложения, системы управления базами данных (СУБД), методы верификации информации внутри них;
3. Обозначить основные тенденции развития БД и возможности верификации эБД внутри институциональной иерархии.

Объект исследования. Объектом исследования являлись БД биологических систем лесного хозяйства, которые хранятся и используются госучреждениями и в филиале ФБУ ВНИИЛМ «Сибирская лесная опытная станция».

Информация и полноценная структура, непосредственно с используемых в настоящей работе БД, не отражается в связи с хранящимися в них служебными данными, защищенными авторскими правами, но даются разъяснения относительно логики верификации таких БД, объектами хранения которых являются элементы биологических систем – лесохозяйственных единиц, среди которых главная роль уделена насаждениям и деревьям их формирующих.

В рамках изучаемой темы предметами исследования выступали методы верификации эБД, используемых в сфере лесного хозяйства.

Методы исследования. При проведении аналитической работы в отношении эБД определили комплекс методов исследований:

1. Теоретические методы (изучение научной и технической литературы, нормативно-правовых и законодательных документов, общение со специалистами отрасли);
2. Аналитические методы (анализ проблемы формирования, использования БД и методов их верификации);
3. Информационные методы (использование IT-технологий – эБД, СУБД, программного обеспечения (ПО) Microsoft Excel для импорта/экспорта баз данных в форматах .tab, .dat, .map, .mif, .qgs, .qgd, .dbf, .sql, .accdb, .mdb, .csv, .xml, .kml, .xlsx и др.).

Результаты исследования. Биологические системы являются сложными объектами изучения в силу огромного числа системных элементов и их динамической изменчивости, пластичности, подверженности влиянию биотических, абиотических и антропогенных факторов, которые являются, как сказал бы Готфрид Лейбниц, сингулярными переходами по криволинейности – ведь именно криволинейные отношения доминируют в живых системах, вследствие чего в большинстве случаев статистического анализа исследователи обнаруживают именно ненормально распределенные выборочные данные. Взаимодействия компонентов систем друг с другом и факторами среды обеспечивает двигатель вектора развития, поэтому биологическая система способна видоизменяться и заимствовать свойства, компоненты других систем, иначе говоря, наделять элементы новыми предикатами. Изменения сами по себе носят диффундирующий характер, что проще понять на следующем примере в условных обозначениях: на конкретном участке *X* прошел лесной пожар интенсивностью *Y* (причина ослабления, иначе говоря, изменение уже произошло в границах локалитета *X* с силой изменчивости *Y*), с течением времени (вектор времени) *Z* появились первые

(повреждение луба), вторые (заселение вредителями) и последующие признаки ослабления – как следствие, локалитет *X* изменен и диффундирует на близлежащие пространства, резистентные или не резистентные в силу своих свойств. Здесь встречается множество предикатов, которыми мы наделяем повыделенные леса, но учитываем лишь часть при лесоустройстве и других лесохозяйственных мероприятиях (например, отводе и таксации лесосек, лесопатологических обследованиях (ЛПО) и др.), другую часть списываем на факторы, остальную – пытаемся моделировать и прогнозировать (например, таблицы хода роста нормальных деревьев и насаждений [2] или древесно-кольцевая хронология (дендрохронология) с эталонами). Данное явление указывает на пластичность системы, что означает постоянную динамику в показателях, которые задают названия столбцам таблиц БД, используемых в лесном хозяйстве повсеместно.

Вследствие данных причин, БД в сфере лесного хозяйства можно разделить на динамичные и статичные. В настоящей работе анализировали БД реляционного и нереляционного, динамичного и статичного типов.

Свойство «динамичности» БД принимают при поступлении/выбраковки (замещении) данных наиболее актуальными. Это, однако, не означает, что добавление новой строки информации в БД делает ее динамичной. В лесном хозяйстве БД динамичны в связи с естественными биологическими процессами роста и развития древесной растительности внутри лесного фонда и лесопарковых зеленых поясов городов, муниципальных образований (Табл.1.).

Таблица 1. Пример структуры базы данных по таксационному описанию на *n*-год лесоустройства

Table 1. An example of a database structure containing a tax description for the n^{th}-year of forest management*

Код субъекта РФ	Л	УЛ	Урочище	Лесной квартал	Выдел	*S*	ЛХС	ГП	СД**	Ярус	ЭД	*L*	*h*	*d*	ТЛ
72	Тюменское	Тюменское	Тюменское	1	10	3,6	Лиственная	Б	9Б1С	1	Б	90	17	18,9	РТ
											С	40	8	9,8	

* Л – лесничество; УЛ – участковое лесничество; ЛХС – лесохозяйственная секция; ГП – главная порода; СД – состав древостоя; ЭД – элемент древостоя; П – порода; *L* – средний возраст ЭД (лет); *h* – средняя высота ЭД (м), *d* – средний диаметр ЭД (см), ТЛ – тип леса; 72 – Тюменская область.

** Б – береза; С – сосна (сокращение лесных древесно-кустарниковых пород, согласно Приложению 6 Приказа Рослесхоза от 15.12.1994 г. № 265 [13]).

РТ – разнотравный (сокращение ТЛ приводится в научно-методической литературе и изредка утверждается локальными актами, например, Приказом Министерства лесного хозяйства Воронежской области от 04.03.2025 г. № 182 [12]).

Регистрировать изменения показателей можно постоянно, ежесекундно, а то и фиксировать более медленно протекающие жизненные процессы лесных массивов, лесонасаждений или экосистем, биоценозов, или даже конкретного дерева, зеленого насаждения. В данном случае тематические БД, дифференцированные, например, по энтомологическим, фитопатологическим, микологических и др. коллекциям организмов, найденных в границах конкретного региона, города,

района, села, деревни с привязкой к географическим координатам являются наиболее стабильными и статичными БД, в отличие от первых, когда строка информации не добавляется, а изменяется или заменяется. К примеру последнего, при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте лесохозяйственной дороги проводится ее отвод с изменением границ существующих лесных выделов внутри лесохозяйственных кварталов участковых лесничеств, урочищ, мастерских участков региона, следовательно, меняется площадь, запас, средний диаметр, высота, возраст и т. д. у выдела и выделяется новый выдел, в который входит лесная дорога. Практически также меняется повыделенная информация древостоев при выделении лесных участков для их аренды по проектной документации на лесной участков (ПДЛУ) с составлением договоров аренды лесных участков и проектов освоения лесов (ПОЛ) с выделением новых выделов внутри существующих.

Обеспечение лесным хозяйством «многоцелевого, рационального, непрерывного, неистощительного использования лесов», согласно Лесному кодексу РФ [10], возможно при постоянном мониторинге лесных земель наземными (экспедиции по маршрутным путям, «методом конверта», натурные глазомерно-инструментальные таксационно-лесоустроительные работы, лесопатологические обследования наземным способом, рекогносцировочные обследования и др.) и дистанционными способами (дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) при лесопатологическом государственном (ЛППГМ), экологическом, противопожарном мониторингах).

Если обратить внимание на Рисунок 1, можно увидеть, что информация, поступающая в БД – по сжатой модели – является смешанной, другими словами, БД являются многоканальными и используют все источники информации одновременно и, в связи с этим, беспорядочно, вследствие чего происходят неправильные отклики на триггеры [7-9], возникают дубликаты записей, контрарные и контрадикторные записи, некорректные (смешивание годов) и неполные (пустые значения переменных) данные. Так, среди данных, записанных в строку по заданным столбцам таблиц, часто наблюдается тип «NULL» для всех показателей, позволяющий оставлять незаполненные показатели, что работает по принципу «никогда не знаешь, с чем придется столкнуться в будущем», или «на всякий случай». Такие примеры наблюдаются повсеместно, например, в таксационных/лесоустроительных карточках в информационно-программном комплексе (ИПК) «ЛесГИС» на базе ПО «MapInfo» [3, 4], инвентаризации зеленых насаждений г. Тюмени, хранящейся в реляционной базе данных (РБД) на «ГеоПортале Тюменской области» и т. д.).

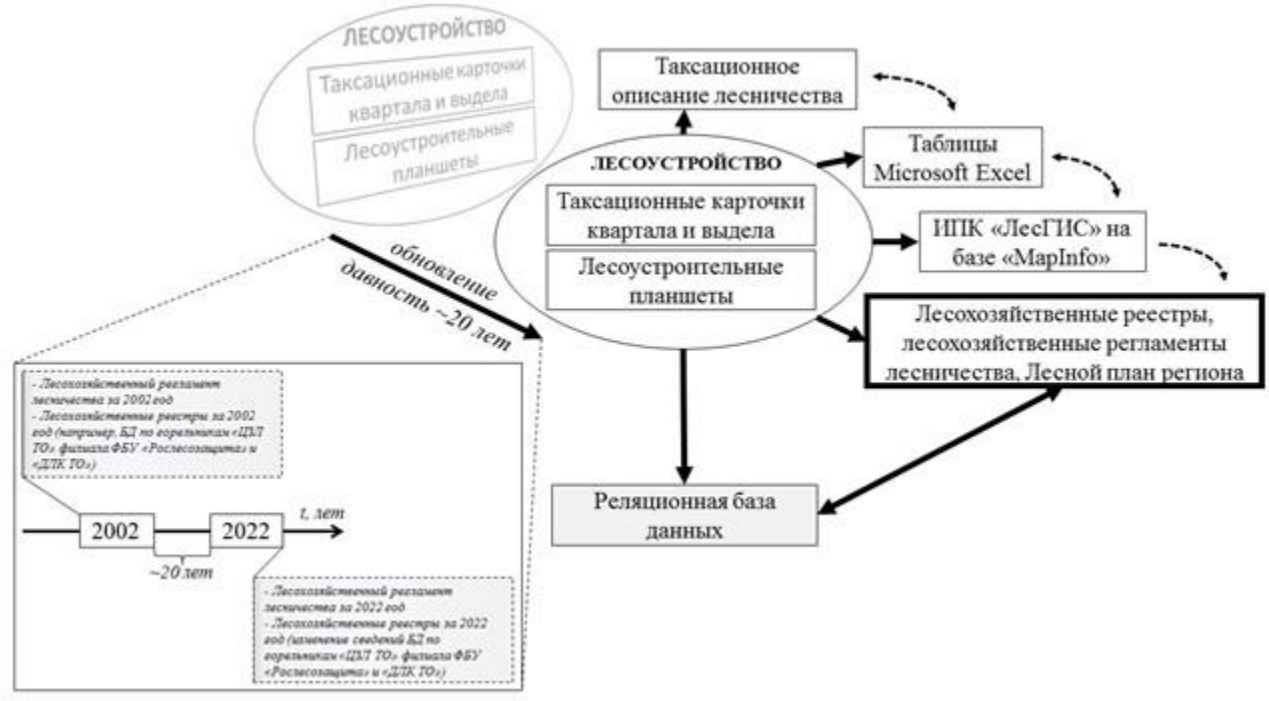


Рисунок 1. Сжатая модель актуализации (обновления) динамических РБД на примере замены таксационных и геоинформационных данных лесоустройства 2002 года на данные 2022 года

Figure 1. A compressed model for updating dynamic RDB using the example of replacing the tax and geoinformation forest management data obtained in 2002 with data collected in 2022 is presented

РБД лесного хозяйства по актуализации лесоустроительной, лесопатологической информации сталкиваются с проблемами верификации данных внутри подобных БД. По-прежнему, остается открытым главный вопрос: с чем сравнивать (верифицировать)?

Возникающая на данном фоне внутренняя проблема нашла свое решение также быстро, как и возникла – для соблюдения воспроизводимости результатов исследований, требуется соблюдать соответствующие методики, поэтому БД сильно закрепились за действующими лесохозяйственными и лесоводственными методиками, ОСТ, ГОСТ, нормативно-правовыми актами (НПА).

Так, разбирая, например, методику закладки пробных площадей (ПП) с выбором их типа, размерности и количества, а также методику проведения в границах данных ПП таксационных, лесопатологических работ согласно ОСТ 56-69-83 [19], Лесоустроительной инструкции [14], Порядку проведения лесопатологических обследований [17] и «Методическим рекомендациям по подготовительным работам к лесотаксационному дешифрированию данных радиолокационной съемки» [11], наблюдается следующее правило: производить выборку участков внутри конкретного квартала и выдела лесничества для закладки ПП таким образом, чтобы конечные результаты исчисления выходных параметров имели наименьшее отклонение от последних полученных результатов и совпадали между собой с отклонением ±15-20%. Особенно это касается состава древостоя, его запаса на 1 га (M, м^3/га), относительной полноты (p). Иначе говоря, закладывать ПП следует на однородных лесных участках и заранее зная таксационное описание последнего года лесоустройства, в противном случае возникают превышения допустимых значений и отклонения данных [1].

Таким образом, РБД взаимосвязаны с используемыми методиками, которые, в свою очередь, реализуются глазомерно-инструментальными способами, причем влияние фактора «человеческого глаза» никак не нивелируется, индивидуальные особенности не учитываются, а инструменты в руках каждого инженера демонстрируют разные результаты, хотя нормативно закреплена отработка и закрепление методик таксации перед производством самих работ [17]. Данное обстоятельство заставляет производить верификацию с данными лесоустройства, которое с 2024 года, согласно Приказу Федерального агентства лесного хозяйства от 26.02.2024 г. № 102 [18], должен проводить ФГБУ «Рослесинфорг» – в таком случае, их БД являются эталонами для проведения верификации лесного фонда РФ.

РБД, по нашему мнению, имеют ряд сложностей в области лесного хозяйства, связанными с обработкой и актуализацией данных:

- динамичностью и пластичностью биологических систем;
- многоканальностью БД;
- временем и сезонностью обновления данных;
- погрешностью методик исследования, субъективностью результатов, индивидуальными особенностями инженеров, их опытом работы, фактором «человеческого глаза», неоткалиброванными (не поверенными) инструментами;
- иерархией институтов: данные мигрируют от инстанции к инстанции, преодолевая путь через различные критерии отбора, схемы .xml, .xsd, а также разные методы верификации по своим источникам информации);
- формирующейся ЕИЛП: до внедрения ФГИС ЛК не было договоренности об едином языке БД, СУБД, шаблонах, схемах обработки информации, передачи данных внутри поля;

- использованием собственных шаблонов (создано огромное количество БД);
- смешиванием, потерей, фальсификацией, деактуализацией данных при миграции;
- использованием таблиц Microsoft Excel и СУБД Microsoft Access как основных носителей БД и работы с ними: практически в каждом Свидетельстве о госрегистрации БД;
- использованием различных идентификаторов одних и тех же явлений, процессов (например, отличия справочников лесопатологических кодов [15, 16], оба из которых используются от региона к региону).

Методы верификации баз данных лесного хозяйства заключаются, в настоящее время, по большей части в сопоставлении задокументированной информации, как в случае и с такими видами работ как геологические изыскания, сейсморазведочные работы [22]. Так, для проведения лесопатологического обследования горельников требуется их наличие в соответствующем реестре из государственного лесного реестра (ГЛР), имеющийся у региональных Центров защиты леса (ЦЗЛ), Департаментов лесного хозяйства, центров управления лесами, органов исполнительной власти. Однако, известны случаи, когда услуги по проведению лесопатологических обследований запрашивались по государственным контрактам по 44-ФЗ в Единой информационной системе в сфере закупок (ЕИС «Портал закупок»), а позднее выяснялось отсутствие некоторых участков в реестре. Причина проста – отсутствует постоянный обмен информацией между разными инстанциями лесного хозяйства, в результате чего каждому учреждению приходится практически самостоятельно находить, запрашивать, составлять, обновлять, хранить и передавать накопленные данные, хранящиеся, в основном, в файлах формата .xls и .xlsx (Microsoft Excel). Аналогичным образом, это касается и практики регистрации ПОЛ и дополнений к ним с выгрузкой .xml-схемы в АВЕРС: ЭДЛ и подачи заявки со схемой и приложениями в ведомства через Госуслуги.

Заключение. Специфика отрасли с расширением возможностей и прогрессирующей цифровизацией, в первую очередь, должна привести основные идентификаторы к единообразию, обеспечить государственные структуры доступном к единому информационно-логистическому полю с четким шаблоном параметров (Рис.2.), оставляя возможности создания локальных шаблонов для научно-исследовательских институтов и ученых.

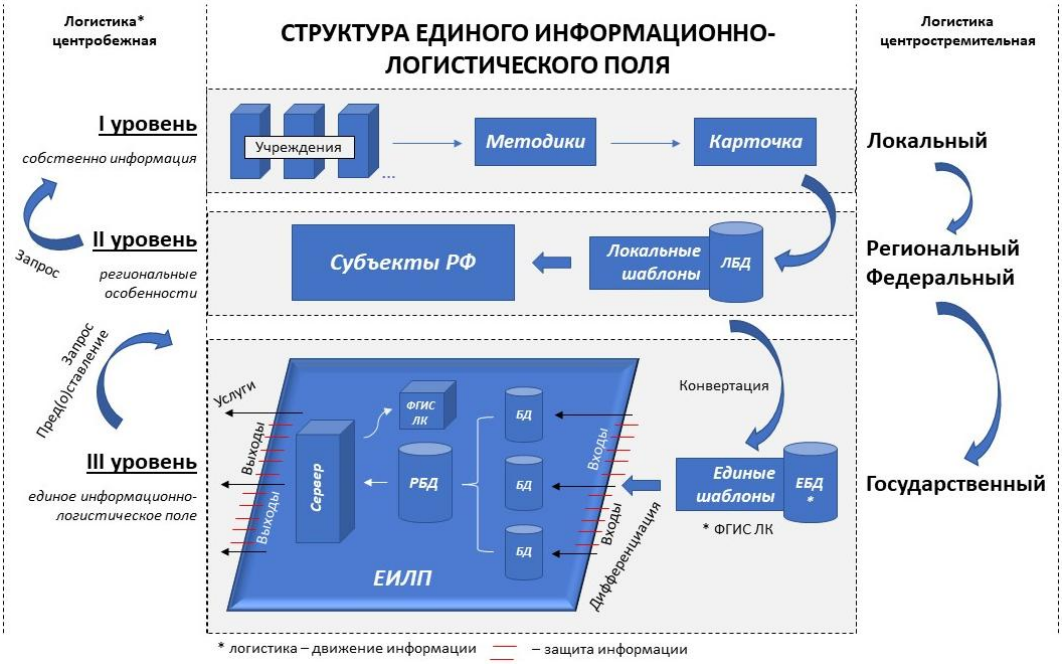


Рисунок 2. Схема и структура строения единого информационно-логистического поля

Figure 2. The scheme and structure of the unified information and logistics field

Критерии выделения параметров шаблонов зависят от уровня реализации шаблонов. Так, I уровень подразумевает исполнительные работы, требующие знание и применение методик изучения характеристик лесных насаждений, информация о которых отражается в таксационной карточке. На данном уровне шаблоны создаются и реализуются в организациях и носят локальный характер их структуры и представления. Карточка сама по себе хоть и закреплена многими десятилетиями стандартными формами, которые содержат таксационные параметры лесонасаждений, но имеют свободную форму, которая затем переносится на шаблоны субъектов РФ (II уровень), где проходит, своего рода, «нормоконтроль» через сбор информации посредством заполнения форм с карточек, превращая информацию в схемы (.xml) для дальнейшей ее конвертации и доставки на III уровень, непосредственно ЕИЛП, в котором информация принимают единообразную форму в структуре единой БД (ЕБД).

Вследствие данных манипуляций появится возможность приложения методов верификации к существующим БД для сбора и сопоставления данных, реализация которых должна сопровождаться несколькими шагами по разным матрицам таблиц и представлениям [21].

Это важно также потому, что мониторинг не может существовать без атрибутивной системы верификации данных мониторинга при использовании ГИС-технологий [6], воздушно-лазерного сканирования (ВЛС), беспилотных авиационных систем (БАС) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) со встроенными лидарами и/или камерами на борту, спутниковых систем различных миссий с получением радиолокационных и/или мультиспектральных снимков. Это не говорит о том, что мониторинг не проводится – у филиалов ЦЗЛ давно разработаны по государственным заданиям системы мониторинга и базы данных с системой верификации, которые являются закрытыми, но некоторые из них предоставляемыми ресурсами (например, ИСДМ Рослесхоз); это говорит о том, что государственные структуры в области лесного хозяйства выполняя одну миссию, действуют разобщенно относительно постоянного обмена информацией о такой сложной экологической и биологической системе как лес. Одно из решений данной проблемы является переход от системы ЛесЕГАИС к ФГИС ЛК с 01.01.2025 года, которая интегрируется во все аспекты работы с лесным фондом РФ работниками леса и арендаторами лесных земель, другими словами – положено начало создания ЕИЛП, информация в которую вносится всеми регионами страны по единой форме через ФГИС ЛК, единый портал государственных и муниципальных услуг (функций) (Госуслуг) и АВЕРС: ЭДЛ для формирования документа в едином формате – схеме .xml.

Современные технологии Big Data, Data Science, Machine Learning, медленно, но постепенно внедряющиеся в лесную сферу [23], способны увеличить скорость чтения данных, обучения по ним при наличии правильной логики, структуры и архитектуры построения БД [5] и использовании методов верификации не только для подтверждения деталей, фактов, но и для выявления ошибок, пробелов, «нулей» [7]. Согласно информационных источникам Рослесхоза [20], с 2025 года лесных госуслуг через ФГИС ЛК оказано более 5 млн., а вплоть до конца 2026 года всем регионам необходимо завершить работу по внесению во ФГИС ЛК границ лесничеств по ЕГРН, актуальных данных таксации и лесоустройства, то есть центростремительно консолидировать все данные о лесном фонде РФ в единой и сложной РБД, что уже приводит к снижению времени оказания лесных услуг и частоты ошибок, отказа в них с отрицательным заключением.

В настоящее время ФГИС ЛК выглядит следующим образом:

1. Сформирована единая система идентификация лесопользователей с привязкой к Госуслугам, сертификатам ЭЦП юридического лица внутри ЕИЛП.

2. Данная система работает по принципу внесения данных через единые формы создания проектной документации во ФГИС ЛК с последующей конвертацией данных в схему .xml (единый шаблон) в АВЕРС: ЭДЛ, которая затем вместе с прикрепленными .pdf-файлами в виде Приложений

(тематические карты, правоустанавливающие документы) к .xml-схеме отправляется в уполномоченный исполнительный орган через Госуслуги с формированием заявления для регистрации последующего процесса актуализации данных единой РБД.

3. Происходит процесс интеграции всех субъектов РФ путем присоединения к ЕИЛП путем загрузки всех данных о лесном массиве регионов во ФГИС ЛК до конца 2026 года по заданному выше оцифрованному формату.

4. Вся существующая лесная информация и документация стремится к консолидации в единой системе хранения, обработки и использования информации о лесах РФ. По мере интеграции региональных данных происходит отслеживание статистики и трафика нагрузки ФГИС ЛК – модернизируются процедуры выполнения запросов лесопользователей с наименьшей ошибкой и частотой их отклонения, снижается время обработки заявлений. Все данные уложены в уже дифференцированные БД.

5. Все возможные дубликаты, ошибки, «нули» данных фильтруются посредством формирования .xml-схемы.

В целях эффективного и рационального использования БД в отрасли лесного хозяйства, предлагаем следующие пути решения обозначенных в настоящем исследовании проблем целостности БД и их использования:

1. Продолжить формирование единой системы идентификации и ЕИЛП по всей РФ, которая не имела бы региональных различий (классификация лесопатологических кодов) в силу отсутствия необходимости в них за исключением природно-экономических и социальных региональных особенностей (например, лесорастительных, лесотипологических, эдафических и т. д.).

2. Согласовать файловую структуру записей БД по хранению совокупностей региональных данных лесного фонда в качестве шаблона, через который будут проходить основные сведения о лесном фонде РФ, преодолевая их фильтрацию для снижения частоты смешивания данных.

3. Обсудить региональную самостоятельность относительно вопросов предоставления и представления информации о лесных насаждениях из локальных БД отдельных учреждений лесного хозяйства. Различия классификаций, в частности, кодов, указывающих на лесопатологические причины и признаки повреждения, можно решить путем создания локальных БД по субъектам РФ, которые решили использовать тот или иной справочник кодов, а затем при регистрации заявления с приложенной .xml-схемой автоматически осуществлять конвертацию кодов к единой системе классификации заданной ЕИЛП.

4. Совершенствовать структуру, архитектуру и логику ЕИЛП, дифференцировав БД по уровням локального пользования с учетом центростремительной системы организации и сбора данных. Существующую дифференциацию БД следует разделить на менее крупные БД, включающую информацию по классификационным группам и стратам (например, вредители, болезни, грибы и др.), что поможет пользователям лучше ориентироваться в системе и наиболее полно предоставлять актуальную информацию о лесах с реализацией функций «выпадающего списка» в единых формах. Решение данного вопроса позволит также наиболее комплексно и системно подойти к решению проблемы региональных различий в классификации лесопатологических кодов, привязав признаки к атрибутивам локальных БД («повреждение» (БД_ключ_раздел_подраздел_код) + «тип повреждения» (~) + «объект повреждения» (~) + «субъект повреждения» (~)).

5. Проанализировать каналы «входов» информации в БД на наличие фактов дублирования, смешивания, фальсификации данных в конце полной загрузки информации о лесах, произвести оптимизацию списков по назначенным типам данных (числовые, строковые, пространственные, двоичные, дата и время), их атрибутам (беззнаковые числа, уникальные, «нулевые» и «ненулевые» значения и др.) и размерностью (например, integer unsigned (10)).

6. Оградить сводную БД от методик исследования – данные лесоустроительных работ должны существовать в отдельной реляционной БД, сведения которой зависимы от локальных БД и заносятся в сводную БД при прохождении верификации данных относительно заданных критериев (например, даты последних таксационных, лесоустроительных, лесопатологических работ, экспертиз при подготовке целевых проектов для заказчиков) записи новой строки в таблицы БД с выбором приоритетного источника данных (по умолчанию) и распределением векторов весовых коэффициентов при согласованности специалистов.

7. Разработать алгоритм ведения статистики по входным данным, поступающим в БД, для отслеживания ошибок, их частоты, точек экстремумов, а также уровня отклонения показателей и обнаружения выпадающих значений (outliers).

Список использованных источников

1. Алгоритм актуализации лесоустроительной информации и его апробация в Воронежской области / А.В. Мироненко [и др.] // Труды Санкт-петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2022. – № 4. – С. 85-98. – DOI: 10.21178/2079-6080.2022.4.85. – URL: https://www.elibrary.ru/exeilt (дата обращения: 11.02.2025).
2. Богачев А.В. Лесотаксационные исследования / А.В. Богачев. – М.: ВНИИЛМ, 2007. – 344 с.
3. Галанов А.Э. Использование информационно-программного комплекса «ЛесГИС» и базы данных в сфере лесного хозяйства // Перспективные разработки и прорывные технологии в АПК: сборник материалов Национальной научно-практической конференции (Тюмень, 21-23 окт. 2020 г.). – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2020. – С. 18-25. – URL: https://www.elibrary.ru/dirirw (дата обращения: 11.02.2025).
4. Галанов А.Э. Особенности формирования баз данных объектов лесного хозяйства и их использование / А.Э. Галанов, Е.С. Папулов // Современные технологии управления. – 2023. – № 2 (102). – С. 1-13. – URL: https://www.elibrary.ru/bjhtor (дата обращения: 11.02.2025).
5. Галушка В.В. Метод и средства верификации баз данных на основе нейросетевых технологий: дис. … канд. тех. наук. – Ростов-на-Дону, 2013. – 137 с. – URL: https://www.dissercat.com/content/metod-i-sredstva-verifikatsii-baz-dannykh-na-osnove-neirosetevykh-tekhnologii (дата обращения: 11.02.2025).
6. Глаголев В.А. Разработка базы данных регионального прогноза пожарной опасности растительности по природно-антропогенным условиям // Региональные проблемы. – 2019. – № 3. – С. 18-23. – DOI: 10.31433/2618-9593-2019-22-3-18-23. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-bazy-dannyh-regionalnogo-prognoza-pozharnoy-opasnosti-rastitelnosti-po-prirodno-antropogennym-usloviyam (дата обращения: 11.02.2025).
7. Глухарев М.Л. Метод верификации и анализа защищенности баз данных на основе формализации требований целостности: дис. … канд. тех. наук. – Санкт-Петербург, 2011. – 132 с. – URL: https://www.dissercat.com/content/metod-verifikatsii-i-analiza-zashchishchennosti-baz-dannykh-na-osnove-formalizatsii-trebovan (дата обращения: 11.02.2025).
8. Корниенко А.А. Метод формальной верификации и анализа защищенности реляционных баз данных на основе метамодели требований целостности / А.А. Корниенко, М.Л. Глухарев // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2013. – № 1. – С. 20-27. – URL: https://www.elibrary.ru/qcllxb (дата обращения: 11.02.2025).
9. Корниенко А.А. Формальная верификация ограничений целостности и триггеров реляционных баз данных при наличии избыточных требований целостности / А.А. Корниенко, М.Л. Глухарев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – № 2 (31). – С. 112-115. –

URL: https://cyberleninka.ru/article/n/formalnaya-verifikatsiya-ogranicheniy-tselostnosti-i-triggerov-relyatsionnyh-baz-dannyh-pri-nalichii-izbytochnyh-trebovaniy (дата обращения: 11.02.2025).

10. Лесной кодекс Российской Федерации от 04 декабря 2006 г. № 200-ФЗ. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 11.02.2025).
11. Методические рекомендации по подготовительным работам к лесотаксационному дешифрированию данных радиолокационной съемки. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2020. – 88 с. – URL: https://www.elibrary.ru/vgtwon (дата обращения: 11.02.2025).
12. О внесении изменений в приказ управления лесного хозяйства Воронежской области от 03.09.2018 г. № 843: утверждены Приказом Министерства лесного хозяйства Воронежской области от 04.03.2025 г. № 182. – URL: https://docs.cntd.ru/document/407681333 (дата обращения: 30.03.2025).
13. Об утверждении Инструкции по проведению лесоустройства в лесном фонде России: утверждена Приказом Рослесхоза от 15.12.1994 г. № 265. – URL: https://docs.cntd.ru/document/9012320 (дата обращения 30.03.2025).
14. Об утверждении Лесоустроительной инструкции: утвержден Приказом Минприроды РФ от 05 августа 2022 г. № 510. – URL: https://docs.cntd.ru/document/351878696 (дата обращения: 11.02.2025).
15. Об утверждении Методических документов (вместе с Руководством по проектированию, организации и ведению лесопатологического мониторинга, Руководством по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий, Руководством по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований, Руководством по локализации и ликвидации очагов вредных организмов): утверждено Приказом Рослесхоза от 29 декабря 2007 г. № 523. – URL: https://sudact.ru/law/prikaz-rosleskhoza-ot-29122007-n-523-ob/ (дата обращения: 11.02.2025).
16. Об утверждении Методических указаний по проведению лесопатологических обследований: проект Приказа Минприроды РФ от 27 сентября 2016 г. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/56585084/ (дата обращения: 11.02.2025).
17. Об утверждении Порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования (с изм. на 31.10.2022 г.): утверждено Приказом Минприроды РФ от 09 ноября 2020 г. № 910. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573140196 (дата обращения: 11.02.2025).
18. Об утверждении Регламента организации и проведения лесоустроительных совещаний, коллективных (индивидуальных) тренировок, контроля качества проведения лесоустройства и качества подготовки лесоустроительной документации, а также утверждения лесоустроительной документации в отношении мероприятий по таксации лесов, проектированию мероприятий по сохранению лесов, проектированию лесничеств и признании утратившим силу приказа Федерального агентства лесного хозяйства от 18.07.2023 № 815: утвержден Приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 26.02.2024 г. № 102. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1306806653 (дата обращения: 11.02.2025).
19. ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки»: утверждено Приказом Государственного комитета СССР по лесному хозяйству от 23 мая 1983 г. № 72. – URL: https://www.studmed.ru/view/ost-56-69-83-ploschadi-probnye-lesoustroitelnye-metod-zakladki_a19a0d03cea.html (дата обращения: 11.02.2025).
20. Рослесхоз: через ФГИС ЛК в 2025 году оказано 5 млн лесных госуслуг. – URL: https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-cherez-fgis-lk-v-2025-godu-okazano-5-mln-lesnykh-gosuslug/ (дата обращения: 11.02.2025).

21. Рыбина Г.В. Методы и алгоритмы верификации баз знаний в интегрированных экспертных системах / Г.В. Рыбина, В.В. Смирнов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2007. – № 4. – С. 91-102. – URL: https://www.elibrary.ru/iahbfd (дата обращения: 11.02.2025).
22. Ткачева Е.А. Верификация баз данных изученности по результатам ревизионных работ / Е.А. Ткачева, Г.А. Михайлова, О.А. Шпекторова // Отечественная геология. – 2019. – № 4. – С. 21-24. DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10028. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/verifikatsiya-baz-dannyh-izuchennosti-po-rezultatam-revizionnyh-rabot (дата обращения: 11.02.2025).
23. Черных В.Л. Информационные технологии в лесном хозяйстве / В.Л. Черных, В.В. Сысуев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 378 с. – URL: https://orensau.ru/ru/prochiedokumenty/doc_view/2557-------2000 (дата обращения: 11.02.2025).

Reference

1. Algorithm for updating forest management information and its testing in the Voronezh region / A.V. Mironenko [et al.] // Proceedings of the Saint Petersburg forestry research institute. – 2022. – No. 4. – P. 85-98. – DOI: 10.21178/2079-6080.2022.4.85. – URL: https://www.elibrary.ru/exeilt
2. Bogachev A.V. Forest Taxation Research / A.V. Bogachev. – Moscow: VNIILM, 2007. – 344 p.
3. Galanov A.E. Incorporation of information and software complex "LesGIS" and database in the forestry field // Promising developments and breakthrough technologies in AIC (Tyumen, 21-23 oct. 2020). – Tyumen: Northern Trans-Ural State Agricultural University, 2020. – P. 18-25. – URL: https://www.elibrary.ru/dirirw
4. Galanov A.E. Features of the formation of databases of forestry objects and their use // Modern management technology. – 2023. – No. 2 (102). – P. 1-13. – URL: https://www.elibrary.ru/bjhtor
5. Galushka V.V. A method and means of verifying databases based on neural network technologies: dis. … candidate of engineering sciences. – Rostov-on-Don, 2013. – 137 p. – URL: https://www.dissercat.com/content/metod-i-sredstva-verifikatsii-baz-dannykh-na-osnove-neirosetevykh-tekhnologii
6. Glagolev V.A. Prediction of grass fires emergence and spread on the example of Jewish autonomous region // Regional Problems. – 2019. – No. 3. – P. 18-23. – DOI: 10.31433/2618-9593-2019-22-3-18-23. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-bazy-dannyh-regionalnogo-prognoza-pozharnoy-opasnosti-rastitelnosti-po-prirodno-antropogennym-usloviyam
7. Glukharev M.L. A method of verification and analysis of database security based on the formalization of integrity requirements: dis. … candidate of engineering sciences. – Saint Petersburg, 2011. – 132 p. – URL: https://www.dissercat.com/content/metod-verifikatsii-i-analiza-zashchishchennosti-baz-dannykh-na-osnove-formalizatsii-trebovan (date of request: 02/11/2025).
8. Kornienko A.A. Method of formal verification and relational database safety analysis based on integrity demands metamodel / A.A. Kornienko, M.L. Glukharev // Problems of Information Security. Computer Systems. – 2013. – No. 1. – P. 20-27. – URL: https://www.elibrary.ru/qcllxb
9. Kornienko A.A. Formal verification of relational databases integrity constraints and triggers in the presence of redundant integrity demands / A.A. Kornienko, M.L. Glukharev // Proceedings of Petersburg Transport University. – 2023. – No. 2 (31). – P. 112-115. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/formalnaya-verifikatsiya-ogranicheniy-tselostnosti-i-triggerov-relyatsionnyh-baz-dannyh-pri-nalichii-izbytochnyh-trebovaniy
10. Forest Code of the Russian Federation dated December 04, 2006 No. 200-FZ. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (date of request: 02/11/2025).
11. Methodological recommendations on preparatory work for forest-based decoding of radar survey data. – Pushkino: VNIILM, 2020. – 88 p. – URL: https://www.elibrary.ru/vgtwon

12. On Amendments to the Order of the Forestry Administration of the Voronezh Region dated 03.09.2018 No. 843: approved by the Order of the Ministry of Forestry of the Voronezh Region dated March 04, 2025 No. 182. – URL: https://docs.cntd.ru/document/407681333
13. On Approval of the Instructions for Conducting Forest Management in the Russian Forest Fund: Approved by Order of the Federal Forestry Agency dated December 15, 1994 No. 265. – URL: https://docs.cntd.ru/document/9012320
14. On approval of the Forest Management instruction: approved by the Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated August 05, 2022 No. 510. – URL: https://docs.cntd.ru/document/351878696 (date of request: 02/11/2025).
15. On approval of Methodological documents (together with the Guidelines for the design, organization and conduct of forest pathology monitoring, Guidelines for sanitary and health measures, Guidelines for planning, organizing and conducting forest pathology surveys, Guidelines for the localization and elimination of foci of harmful organisms): approved by Rosleskhoz Order dated December 29, 2007 No. 523. – URL: https://sudact.ru/law/prikaz-rosleskhoza-ot-29122007-n-523-ob/
16. On approval of Methodological guidelines for conducting forest pathology surveys: draft Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated September 27, 2016. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/56585084/
17. On approval of the Procedure for conducting forest pathology examinations and the form of the forest pathology examination Act (as amended on 31.10.2022): approved by Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated November 09, 2020 No. 910. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573140196
18. On approval of the Regulations for the organization and conduct of Forest management meetings, collective (individual) trainings, quality control of forest management and the quality of preparation of forest management documentation, as well as approval of forest management documentation for forest Taxation, Design of Forest Conservation Measures, design of Forestry and invalidation of the Order of the Federal Forestry Agency dated 07/18/2023 No. 815: approved By Order of the Federal Agency for Forestry of the Russian Federation dated February 26, 2024 No. 102. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1306806653
19. OST 56-69-83 «Trial forest inventory areas. Bookmark Method»: approved by the Order of the USSR State Committee for Forestry dated May 23, 1983 No. 72. – URL: https://www.studmed.ru/view/ost-56-69-83-ploschadi-probnye-lesoustroitelnye-metod-zakladki_a19a0d03cea.html
20. Rosleskhoz: 5 million forest state services provided through FGIS LC in 2025. – URL: https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-cherez-fgis-lk-v-2025-godu-okazano-5-mln-lesnykh-gosuslug/
21. Rybina G.V. Methods and algorithms for verification of knowledge bases in integrated expert systems / G.V. Rybina, V.V. Smirnov // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2007. – No. 4. – P. 91-102. – URL: https://www.elibrary.ru/iahbfd
22. Tkacheva E.A. Verification of databases of knowledge based on the results of audit work / E.A. Tkacheva, G.A. Mikhailova, O.A. Shpektorova // Russian geology. – 2019. – No. 4. – P. 21-24. DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10028. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/verifikatsiya-baz-dannyh-izuchennosti-po-rezultatam-revizionnyh-rabot
23. Chernykh V.L. Information technologies in forestry / V.L. Chernykh, V.V. Sysuev. – Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2000. – 378 p. – URL: https://orensau.ru/ru/prochiedokumenty/doc_view/2557-------2000

Galanov Aleksandr E.

Engineer of the 1st category
Branch of Federal Budgetary Institution
“All-Russian Research Institute for Silviculture and
Mechanization of Forestry” “Siberian Forest Experimental Station”
Tyumen
E-mail: galanov@vniilm.ru

Gimgina Ekaterina D.
Engineer of the 1st category
Branch of Federal Budgetary Institution
“All-Russian Research Institute for Silviculture and
Mechanization of Forestry” “Siberian Forest Experimental Station”
Tyumen
Email: gimgina.ekaterina@gmail.com

© Галанов А.Э, Гимгина Е.А. 2025

РАЗДЕЛ ГЕОЭКОЛОГИЯ

SECTION GEOECOLOGY

УДК 551.463.6

Табунщик В.А., Никифорова А.А., Змерзлая А.Б.

ЭНТРОПИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА-А (CHL-A) В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРСКОЙ ВОДЫ КАРСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Табунщик Владимир Александрович
кандидат географических наук
с.н.с. лаборатории ландшафтной экологии и геоматики
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
Севастополь
E-mail: tabunshchyk@ya.ru

Никифорова Александра Александровна
м.н.с. лаборатории ландшафтной экологии и геоматики
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
Севастополь

Змерзлая Александра Борисовна
студент
кафедры физической географии, океанологии и ландшафтоведения
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»
г. Симферополь

Аннотация. *Статья посвящена исследованию пространственной неоднородности распределения концентрации хлорофилла-а (Chl-a) в приповерхностном слое вод Карского моря в летний период, с использованием энтропийного подхода. Хлорофилл-а рассматривается как ключевой индикатор*

биомассы фитопланктона и продуктивности морской экосистемы. Целью работы является количественная оценка структуры поля хлорофилла-а посредством расчета относительной энтропии Шеннона, что позволяет перейти от точечных измерений к характеристике меры упорядоченности (или хаотичности) его распределения. В основе методологии лежит геоинформационный анализ. Пространственные данные о распределении хлорофилла-а обрабатывались в среде Quantum GIS Desktop. Акватория моря была разбита на квадраты, внутри которых по формуле Шеннона рассчитывался показатель относительной энтропии, отражающий степень разнообразия значений концентрации. Результаты исследования показали, что распределение энтропии хлорофилла-а в летний период отличается значительной пространственной изменчивостью. Наиболее высокие значения энтропии (более 0.5), свидетельствующие о высокой пространственной гетерогенности поля хлорофилла, характерны для центральной части моря, крупных заливов (Обская, Тазовская, Гыданская губы) и западных районов Карского моря. Минимальная энтропия, указывающая на более однородные условия, выявлена в приустьевых районах и в акваториях вокруг архипелагов (Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля). Проведенный анализ подтверждает сложный характер организации фитопланктонного сообщества Карского моря в летний сезон и демонстрирует эффективность энтропийного метода для выявления зон с разным уровнем пространственной неоднородности. Полученные данные подчеркивают уникальность и уязвимость экосистемы шельфа Карского моря, что является важным аргументом для обоснования мероприятий по её охране в условиях возрастающей антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: *Карское море; хлорофилл-а; энтропия Шеннона; пространственное распределение; фитопланктон; геоинформационные системы (ГИС); Quantum GIS; экологический мониторинг.*

ENTROPY OF CHLOROPHYLL-A (CHL-A) DISTRIBUTION IN THE NEAR-SURFACE SEA WATER LAYER OF THE KARA SEA IN SUMMER

Abstract. *The article is devoted to the study of the spatial heterogeneity of chlorophyll-a (Chl-a) concentration distribution in the near-surface water layer of the Kara Sea during the summer period using an entropy-based approach. Chlorophyll-a is considered a key indicator of phytoplankton biomass and the productivity of the marine ecosystem. The aim of the work is to quantitatively assess the structure of the chlorophyll-a field by calculating Shannon's relative entropy, which allows transitioning from point measurements to characterizing the degree of order (or chaos) in its distribution. The methodology is based on geoinformation analysis. Spatial data on chlorophyll-a distribution were processed using Quantum GIS Desktop. The sea's water area was divided into squares, within which the relative entropy index was calculated using Shannon's formula, reflecting the degree of diversity in concentration values. The results of the study showed that the distribution of chlorophyll-a entropy in the summer period exhibits significant spatial variability. The highest entropy values (above 0.5), indicating high spatial heterogeneity of the chlorophyll field, are characteristic of the central part of the sea, the major bays (Ob Bay, Taz Bay, Gydan Bay), and the western regions of the Kara Sea. Minimum entropy, indicating more homogeneous conditions, was identified in estuarine areas and in the waters around the archipelagos (Novaya Zemlya, Franz Josef Land, Severnaya Zemlya). The conducted analysis confirms the complex nature of the phytoplankton community organization in the Kara Sea during the summer season and demonstrates the effectiveness of the entropy method for identifying zones with different levels of spatial heterogeneity. The obtained data*

emphasize the uniqueness and vulnerability of the Kara Sea shelf ecosystem, which is an important argument for justifying conservation measures in the face of increasing anthropogenic pressure.

Keywords: *Kara Sea; chlorophyll-a; Shannon entropy; spatial distribution; phytoplankton; Geographic Information Systems (GIS); Quantum GIS; environmental monitoring.*

Введение. Карское море, как значимый шельфовый водоём Северного Ледовитого океана, представляет собой сложную динамическую систему, испытывающую интенсивное воздействие природных и антропогенных факторов. Функционирование его экосистемы и уровень биологической продуктивности определяются процессами развития фитопланктона, являющегося первичным продуцентом. Важнейшим индикатором биомассы и физиологического состояния фотоавтотрофного сообщества выступает концентрация хлорофилла-а (Chl-a). В летний период, характеризующийся максимумом инсоляции, сокращением ледяного покрова и влиянием материкового стока, формируются гетерогенные условия, определяющие пространственное распределение фитопланктона.

Анализ характера распределения показателя хлорофилла-а, а не только его абсолютных величин, содержит ключевую информацию о механизмах функционирования экосистемы Карского моря. Для количественной оценки поля концентрации хлорофилла-а, перспективным является применение энтропийного подхода, основанного на концепциях информационной теории. Энтропия Шеннона позволяет перейти от описания точечных измерений к оценке меры упорядоченности или хаотичности распределения параметра хлорофилла-а в исследуемом регионе. Расчёт энтропии поля хлорофилла-а даёт возможность объективно идентифицировать зоны с различным уровнем пространственной гетерогенности, выделить области устойчивых градиентов (минимальная энтропия) и участки мелкомасштабной пятнистости (максимальная энтропия).

Целью данного исследования является количественная оценка пространственной неоднородности распределения хлорофилла-а в приповерхностном слое вод Карского моря в летний период на основе расчёта энтропийной меры Шеннона.

Методика исследования. Методика исследования распределения энтропии различных океанологических (термохалинных, гидрохимических и биологических) показателей основывается на комплексном описании всех его характеристик и выявлении закономерностей функционирования моря, как сложной открытой системы. Как отмечается в работах Е.А. Позаченюк [1, 2], исследование сложных систем возможно опираясь на применение системно-синергетической парадигмы.

Методика исследования распределения энтропии различных океанологических (термохалинных, гидрохимических и биологических) показателей подразделяется на три основных этапа: подготовительный, проведение исследования и камеральный этап.

В период подготовительно этапа производится сбор первичной информации о районе исследования. Этот этап включает в себя – установление границ исследуемого объекта, сбор литературных и картографических материалов об объекте исследования.

На этапе проведения исследования, полученные при анализе данные, обрабатываются и происходит их анализ и обработка. С развитием кибернетики, теории информации и компьютерных технологий сейчас наиболее целесообразным представляется исследование сложных геопространственных систем (объектов исследования) с применением геоинфрмационных технологий. В географических исследованиях для этих целей наиболее оптимально подходят географические информационные системы. Существует довольно большое число географических информационных систем (Quantum GIS Desktop, ArcGIS, SAGA (System for Automated Geoscientific

Analyses) GIS, Surfer GIS, Панорама ГИС, MapInfo GIS и ряд других). Учитывая тот факт, что большинство географических информационных систем (ArcGIS, Surfer GIS, Панорама ГИС, MapInfo GIS и ряд других) распространяются по платной лицензии это затрудняет их использование в образовательном процессе. Однако, вторая часть географических информационных систем (Quantum GIS Desktop, SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) GIS и ряд других) являются программами с открытым кодом и распространяются по открытой лицензии бесплатно. Среди них наиболее функциональной является Quantum GIS Desktop. В данной работе анализ материалов исследования и построение картографического материала будет осуществляться с применением программного Quantum GIS Desktop.

Во время проведения камерального этапа проводится анализ полученной информации, выявляются новые закономерности пространственного развития рассматриваемых объектов исследования.

Как уже было отмечено выше, активные исследования морей Мирового океана проводили многие ученые, однако в данной работе мы будем опираться на методику, разработанную сотрудниками кафедры физической географии, океанологии и ландшафтоведения Таврической академии Крымского федерально университета имени В.И. Вернадского в рамках научной школы конструктивно-ландшафтной географии. Так, в частности, на этапе проведения исследования методика будет состоять в последовательном выполнении следующих шагов [3-5] дополнениями авторов] с использованием геоинформационной системы Quantum GIS Desktop 2.18.16:

1. Загрузка и установка программного комплекса Quantum GIS Desktop 2.18.16

2. Оцифровка границ моря, береговой линии окружающих его остров, полуостровов, материков.

3. Изучение различных физико-географических и океанологических (термохалинных, гидрохимических и биологических) показателей по литературным, фондовым, картографическим материалам и источникам.

4. Привязка картографического материала по координатам

5. Оцифровка поля хлорофилла-а

6. Анализ разнообразия поля хлорофилла-а.

Оценка природного разнообразия выполняется по методике, предложенной Г.Н. Скребцом с соавторами [4, 5] и апробирована для акватории Черного и Азовского морей. Для этого акватория моря разбивается на квадраты одного размера и внутри каждого квадрата помещается определенное число точек. Далее по каждому квадрату производится вычисление энтропии, на основании формулы К. Шеннона [3, 6, 7]. Так К. Шеннон предложил использовать формулу абсолютной энтропии E (A):

$$E(A) = \sum \frac{f_i}{\sum f_i} log_2 \frac{f_i}{\sum f_i}$$

где *fi* – число точек в выделе (определенном диапазоне) для квадрата заданного размера, $\sum f_i$ – общее число точек в квадрате заданного размера*, i* – число выделов (определенных диапазонов) для квадрата заданного размера.

Расчеты показателей энтропии будут проводится с использованием программ Quantum GIS Desktop 2.18.16 и Microsoft Excel 2016. В связи с тем, что могут анализируются карты с различными характеристиками, для анализа их распределения и сопоставления показатель абсолютной энтропии может быть заменен на показатель относительной энтропии – E (A) r. Это связано с тем что значения относительной энтропии колеблются от 0 до 1 и удобны для сравнения основных физико-

географических и океанологических (термохалинных, гидрохимических и биологических) показателей имеющих разные величины измерения.

$$E(A)\, r = \frac{E(A)}{E(A)max} = \frac{\sum \frac{f_i}{\sum f_i} log_2 \frac{f_i}{\sum f_i}}{log_2\, i}$$

Таким образом исследование энтропиb распределения хлорофилла-а в приповерхностном слое морской воды Карского моря в летний период будет выполняться с использованием геоинформационной системы Quantum GIS Desktop 2.18.16 и основным методом в работе будет выступать геоинформацонный метод исследования.

Результаты и обсуждение. Согласно методике, описанной ранее для расчета показателя энтропии распределения хлорофилла-а в приповерхностном слое морской воды Карского моря в летний период получены следующие результаты, изложенные ниже.

Первоначально все картографические данные отражающие пространственное распределение основных характеристик были оцифрованы в программном комплексе Quantum GIS Desktop 2.18.16. Для этого растровые изображения с помощью инструмента «Привязка растра» были привязаны к координатам в проекции WGS_1984_EPSG_Russia_Polar_Stereographic (рис. 1).

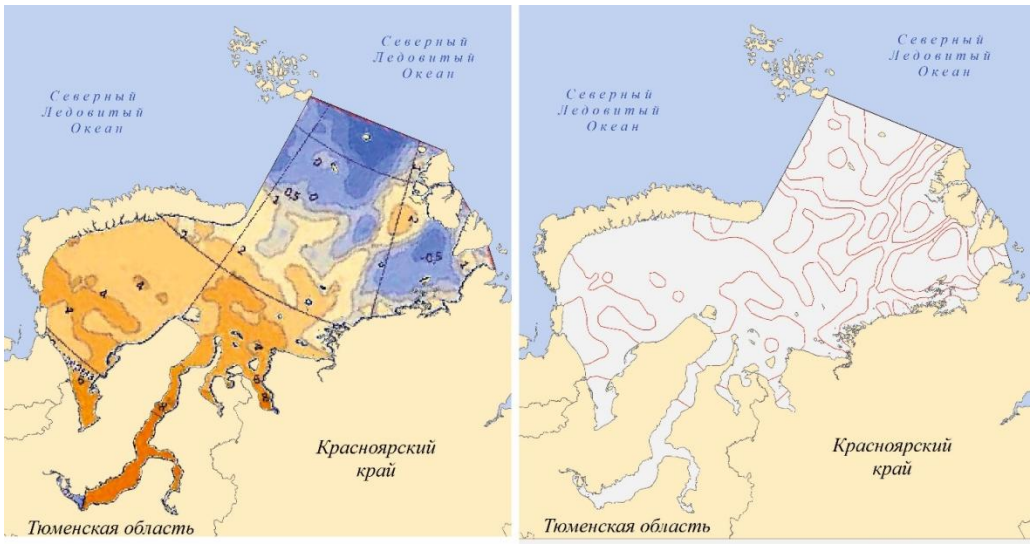


Рисунок 1. Векторизация данных (пример)
Figure 1. *Vectorization of data (example)*

Затем были оцифрованы основные изолинии и переведены в векторный формат с помощью инструмента «Создать векторный слой».

После этого акватория Карского моря была разбита на 46 полных и неполных квадратов размерностью 200 на 200 квадратных километров. Площадь каждого полного квадрата составляла 400 квадратных километров. Каждому квадрату был присвоен порядковый номер от 0 до 45. Всего было выделено 12 полных квадратов и 34 неполных квадратов (рис. 2). В предел каждого квадрата, возможно, максимально 100 точек. Размерность всех квадратов и число точек, для которых производились расчеты приведен в таблице 3.1. Всего акваторию Карского моря покрывает сетка из 2417 точек по которым производился расчет показателя энтропии.



Рисунок 2. Наложение сетки квадратов на акваторию Карского моря
Figure 2. Superimposing a grid of squares on the water area of the Kara Sea

С помощью инструмента «Посчитать точки в полигоне» для каждого квадрата было рассчитано число точек, попадающее в определенный диапазон значений рассматриваемых характеристик.

В результате для каждого квадрата был получен набор данных необходимый для расчёта показателя энтропии и оценки на его основании природного разнообразия Карского моря. Расчет показателя относительной энтропии производился в программе Microsoft Excel. Для каждого квадраты были получены значения относительной энтропии – они колеблются от 0 до 1.

С помощью инструмента «Центроиды полигонов» был создан точечный векторный слой и для каждого квадрата значения относительной энтропии были вынесены в эти точки.

С помощью инструмента «Интерполяция» на основании точек – центров полигональных квадратов – были построены карты распределения хлорофилла А в приповерхностном слое морской воды Карского моря в летний период (рис. 3).

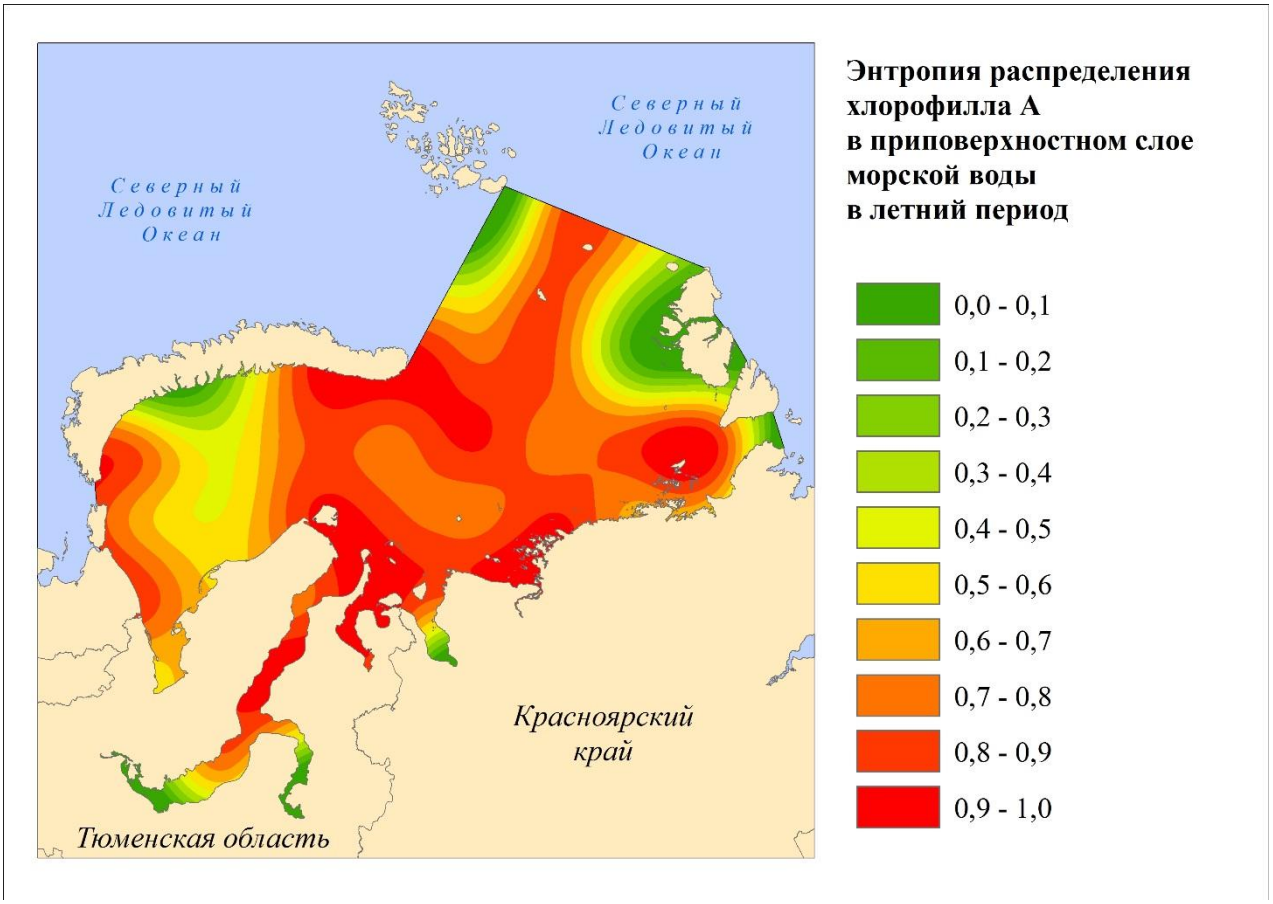


Рисунок 3. Энтропия распределения хлорофилла А в приповерхностном слое морской воды Карского моря в летний период

Figure 3. Entropy of chlorophyll A distribution in the near-surface sea water layer of the Kara Sea in summer

Распределение энтропии хлорофилла А в приповерхностном слое морской воды Карского моря в летний период носит сложный характер. В акватории Карского моря доминируют значения энтропии более 0,5, что свидетельствует о высоком разнообразии рассматриваемого показателя. Наибольшие значения энтропии характерны для центральной части акватории Карского моря и верхних частей заливов (Обская губа, Тазовская губа, Гыданская губа, Енисейский залив и пр.) наиболее вдающихся в акваторию Карского моря, а также в западной части акватории Карского моря (в районе острова Вайгач и проливов Югорский Шар и Карские ворота). Наименьших значений энтропия достигает в приустьевых районах акватории Карского моря и акваториях вокруг архипелагов Новая Земля (пролив Маточкин Шар), Земля Франца-Иосифа (остров Грэм Бэлл) и Северная Земля (остров Комсомолец и остров Октябрьской Революции).

Заключение. Таким образом Карское море обладает большим разнообразием распределения энтропии хлорофилла А в приповерхностном слое морской воды в летний период, особенно в шельфовой зоне, что свидетельствует об уникальности акватории и необходимости ее защиты в свете актуализации добыче углеводородов с перспективных месторождений на шельфе Карского моря. Применение энтропийного подхода в связке с геоинформационными системами (Quantum GIS) доказало свою эффективность для перехода от точечных измерений к количественной оценке структурной сложности поля хлорофила-а. Этот подход является перспективным инструментом для экологического мониторинга.

Список использованных источников

1. Позаченюк, Е.А. Введение в геоэкологическую экспертизу: междисциплинарный под ход, функциональные типы, объектные ориентации / Е.А. Позаченюк. Симферополь: Таврия, 1999. 413 с
2. Позаченюк, Е.А. Экологическая экспертиза: природно-хозяйственные системы / Е.А. Позаченюк. Симферополь, Таврический экологический институт, 2003. 405 с.
3. Берлянт, А. М. Образ пространства: карта и информация / А. М. Берлянт. М.: Мысль, 1986. 238 с.
4. Скребец, Г.Н. Количественный анализ природного разнообразия северо-западной части Черного моря / Г.Н. Скребец, А.В. Глушко, Е.А. Кудрянь // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География» 2011. Т. 24 (63), № 3. С. 62–74.
5. Скребець, Г.М. Оцінка природної різноманітності відкритої акваторії Чорного моря / Г.М. Скребець // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географічні науки. 2012. Т.25 (64), №3. С. 10–17.
6. Берлянт, А. М. Картографический метод исследования / А. М. Берлянт. М.: Изд-воМГУ, 1978. 252 с.
7. Гохман, Г. М. Теория информации и тематическое картографирование / Г. М. Гохман, М. М. Меклер // Вопросы географии. 1971. № 88. С. 68–77.

Reference

1. Pozachenyuk, E.A. Vvedeniye v geoekologicheskuyu ekspertizu: mezhdistsiplinarnyy podkhod, funktsional'nyye tipy, ob"yektnyye orientatsii [Introduction to Geoecological Expertise: An Interdisciplinary Approach, Functional Types, Object Orientations]. Simferopol: Tavriya, 1999. 413 p. (In Russ.)
2. Pozachenyuk, E.A. Ekologicheskaya ekspertiza: prirodno-khozyaystvennyye sistemy [Environmental Expertise: Natural-Economic Systems]. Simferopol, Taurida Ecological Institute, 2003. 405 p. (In Russ.)
3. Berlyant, A.M. Obraz prostranstva: karta i informatsiya [The Image of Space: Map and Information]. Moscow: Mysl', 1986. 238 p. (In Russ.)
4. Skrebets, G.N.; Glushko, A.V.; Kudryan', E.A. Kolichestvennyy analiz prirodnogo raznoobraziya severo-zapadnoy chasti Chernogo morya [Quantitative Analysis of the Natural Diversity of the Northwestern Part of the Black Sea]. Uchenyye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya «Geografiya» [Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series "Geography"], 2011, vol. 24 (63), no. 3, pp. 62–74. (In Russ.)
5. Skrebets, G.M. Otsinka pryrodnoy riznomanitnosti vidkritoy akvatorii Chornogo morya [Assessment of the Natural Diversity of the Open Waters of the Black Sea]. Vcheni zapiski Tavriys'kogo natsional'nogo universitetu im. V. I. Vernads'kogo. Seriya: Heohrafichni nauky [Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Geographical Sciences], 2012, vol. 25 (64), no. 3, pp. 10–17. (In Ukrainian)
6. Berlyant, A.M. Kartograficheskiy metod issledovaniya [The Cartographic Method of Research]. Moscow: Izd-vo MGU [Moscow State University Press], 1978. 252 p. (In Russ.)
7. Gokhman, G.M.; Mekler, M.M. Teoriya informatsii i tematicheskoye kartografirovaniye [Information Theory and Thematic Mapping]. Voprosy geografii [Problems of Geography], 1971, no. 88, pp. 68–77. (In Russ.)

Tabunshchyk Vladimir Aleksandrovich
Candidate of Geographical Sciences
Senior Researcher, Laboratory of Landscape Ecology and Geomatics

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, RAS
Sevastopol
E-mail: tabunshchyk@ya.ru
Nikiforova Alexandra Aleksandrovna
Junior Researcher, Laboratory of Landscape Ecology and Geomatics
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, RAS
Sevastopol
Zmerzlaya Alexandra Borisovna
Student
Department of Physical Geography, Oceanology and Landscape Science
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
Simferopol

© Табунщик В.А., Никифорова А.А., Змерзлая А.Б., 2025

УДК 631.589.2

Данилова Е.В.

ГИДРОПОННЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО (Часть 2)

Данилова Елизавета Вячеславовна
Студент бакалавриата 3 курса
Метеорологический факультет
ФГБОУ ВО Российский государственный гидрометеорологический Университет
Санкт-Петербург
E-mail: ncat787@mail.ru

Аннотация. *В статье анализируется применение гидропоники в различных странах, сталкивающихся с дефицитом воды, пахотных земель и неблагоприятным климатом. Гидропонные технологии, включая вертикальные фермы и автоматизированные теплицы, позволяют экономить до 90% воды и повышать урожайность в несколько раз по сравнению с традиционным земледелием. Внедрение этих методов способствует снижению импорта овощей, уменьшению выбросов CO_2 и обеспечению круглогодичного производства продукции. В работе рассматривается высокий потенциал гидропоники для устойчивого развития сельского хозяйства в регионах с экстремальными условиями.*

Ключевые слова: *гидропоника, гидропонные установки, сельское хозяйство, засушливый климат, автоматизированные теплицы, круглогодичное выращивание.*

HYDROPONIC INSTALLATIONS AND THEIR IMPACT ON AGRICULTURE (PART 2)

Abstract. *The article analyzes the application of hydroponics in various countries facing water scarcity, a shortage of arable land, and unfavorable climate conditions. Hydroponic technologies, including vertical farms and automated greenhouses, save up to 90% of water and increase yields several times compared to traditional agriculture. The implementation of these methods helps reduce vegetable imports, lower CO_2 emissions, and ensure year-round crop production. The study highlights the high potential of hydroponics for sustainable agricultural development in regions with extreme conditions.*

Keywords: *hydroponics, hydroponic systems, agriculture, arid climate, automated greenhouses, year-round cultivation.*

Введение. Глобальное изменение климата приводит к снижению качества сельскохозяйственных земель и истощению водных ресурсов, из чего следует рост проблем и ограничений в области сельского хозяйства. Внедрение гидропонных технологий является альтернативным подходом, позволяющим эффективно использовать воду и пространство для выращивания различных сельскохозяйственных культур даже в экстремальных условиях. В данной статье на примере нескольких стран анализируются возможности и результаты внедрения гидропоники для обеспечения продовольственной безопасности.

ОАЭ: дефицит пахотных земель и воды. Из-за своего географического положения сельскохозяйственный сектор ОАЭ не является самым значительным. Кроме того, страна характеризуется отсутствием адекватных естественных водных путей, чрезвычайно высокими температурами, низким качеством почвы, нехваткой пахотных земель и очень небольшим количеством осадков, что способствует отсутствию значительного сельскохозяйственного сектора. Общая площадь пахотных земель в ОАЭ составляет всего около 1600 квадратных километров из общей площади земель около 71 023 квадратных километров. *В связи с этим решено попробовать внедрить систему гидропоники.* Гидропоника, преобладающая система, используемая в вертикальном земледелии, набирает популярность среди фермеров ОАЭ, особенно при выращивании местных овощей, включая томаты, с минимальными водными ресурсами (рис.1.). Вертикальное земледелие требует меньше места для выращивания овощей, что делает его лучшим сельскохозяйственным решением проблем, связанных с ограниченностью пахотных земель и воды в стране. Для подтверждения эффективности этого подхода приведем конкретные данные. Например, по данным Министерства изменения климата и окружающей среды ОАЭ, гидропоника позволяет экономить около 120 м3 воды для производства каждой тонны томатов по сравнению с традиционными почвенными системами при защищенном сельском хозяйстве в регионе. Более того, дорожная карта Национальной стратегии будущей продовольственной безопасности ОАЭ, направленная на обеспечение адекватного производства продуктов питания в стране с минимальным использованием ресурсов за счет внедрения передовых технологий, позволила многим компаниям заняться выращиванием томатов в теплицах.

В итоге сложилась следующая положительная динамика. Таким образом, быстрое использование современных методов ведения сельского хозяйства, таких как гидропоника и интеллектуальные методы орошения, на фермах в ОАЭ позволяет выращивать томаты круглый год, тем самым повышая урожайность томатов в ОАЭ. В результате производство повысилось до 5,000 кг томатов/год на 100 м², достигнуто снижение импорта овощей на 15% (2020-2023) и экономия воды: 2.1 млн л/год на 1 ферму.

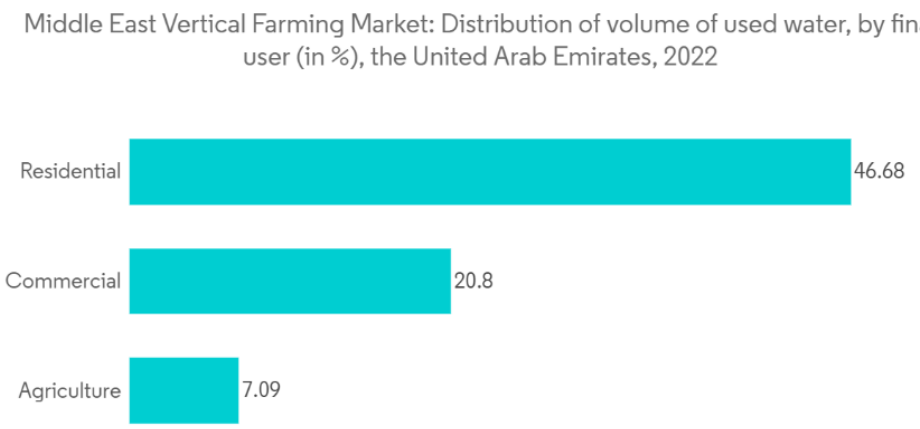


Рисунок 1. Диаграмма распределения водных ресурсов [1]

Figure 1. Water resource allocation diagram [1]

Распределение водных ресурсов среди жилого населения, сельского хозяйства и для других коммерческих целей показывает, что ОАЭ удалось снизить потребление воды для выращивания.

Израиль: экстремальный климат. Проблемами климатического плана, влияющими на ведение сельского хозяйства Израиля так же достаточно. Израиль страдает от хронической нехватки воды (менее 200 мм осадков в год) и засоления грунтовых вод. Традиционные методы орошения становятся нерентабельными.

Решение этой проблемы предоставила компания Growponics Ltd., которая проектирует и строит автоматизированные теплицы, использующие современную агрономию и высокие технологии для максимального увеличения производства продовольствия/растений и рентабельности урожая. Например, капельное орошение с рекуперацией воды (КПД 95%), автоматизированные теплицы с охлаждением.

Как результат использования таких систем в сельском хозяйстве Израиля, получены следующие результаты:

- Урожайность перца: 120 тонн/га против 60 тонн в открытом грунте [2].
- Экспорт овощей увеличился на $220 млн с 2018 года.
- Использование воды: 0.9 м³/кг продукции
- Экономия удобрений: 40%

Сингапур: сельское хозяйство в условиях мегаполиса. Сельхозугодья Сингапура составляют всего 0.9% территории страны-города, а население его 5.7 млн человек, которое необходимо обеспечить продовольствием овощей и зелени, именно поэтому Сингапур импортирует 90% продовольствия. Также земельные ресурсы для выращивания требуют большого бюджета, так как территория очень дорогая.

Компания "Sustenir Agriculture", для обеспечения эффективного растениеводства, реализовала многоэтажные фермы: 12-этажное здание в промзоне, его полезная площадь 3,200 м², что эквивалентно 10 га традиционных угодий. Технология включает полный контроль климата, специальные LED-спектры для каждой культуры, роботизированную уборку.

Результаты работы такой системы дают следующие численные показатели:

- Урожайность клубники - 75 кг/м²/год, капусты кале - 45 кг/м²/месяц
- С экономической стороны: себестоимость - $3.2/кг, розничная цена -$5.8/кг, окупаемость - 4 года
- С экологической стороны: сокращение выбросов CO_2 - 85%, нулевые пестициды.

Кения. Кения сталкивается с комплексом взаимосвязанных проблем, ограничивающих развитие традиционного сельского хозяйства. Нерегулярные осадки – особая проблема на большей части территории Кении. 70% территории страны классифицируется как засушливые и полузасушливые земли [3]. Стоит так же отметить, что в последние 5 лет наблюдается сокращение дождевого периода с 4 до 2-3 месяцев. По данным FAO (2022), 23 из 47 округов Кении испытывают хронический дефицит воды, что приводит к потере до 60% урожая в засушливые годы [1]. Деградация почв так же является значительной проблемой для местного сельского хозяйства. Интенсивное использование земель привело к снижению содержания органического вещества в почвах до 1,2% (при норме 3-5%) [4].

К числу социально-экономических факторов относятся мелкомасштабность хозяйств (75% фермеров обрабатывают участки менее 2 га), низкие доходы (средний месячный доход мелкого фермера составляет 50–70 долларов), а также ограниченный доступ к ресурсам: только 15% фермеров имеют доступ к ирригационным системам и лишь 5% – к современным удобрениям. Кроме того, существуют серьезные технологические ограничения, такие как отсутствие инфраструктуры для хранения и переработки урожая, а также высокие потери урожая (до 40%) из-за вредителей и болезней. В качестве решения предлагаются системы Kijani Groving, представляющие собой вертикальные башни из переработанного пластика площадью 2 м² на 50 растений стоимостью 120–180 долларов; их особенностями являются автополив с солнечным насосом, использование местных субстратов (вулканический туф, кокосовая койра) и производство до 30 кг зелени в месяц. Другим решением выступают контейнерные фермы Hydroponics Africa – переоборудованные морские контейнеры площадью 12 м² с производительностью 80–100 кг овощей в месяц по цене 3500 долларов. В результате достигается снижение расхода воды до 5–8 л/кг продукции против 50–100 л в поле, появляется возможность использования солоноватых вод после фильтрации, а также значительно повышается урожайность: листовые овощи дают 18–25 циклов в год против 2–3 в поле, томаты – 15–20 кг/м² против 5–8 кг в открытом грунте, при этом общее увеличение производства овощей составляет 37%.

Россия. Сельское хозяйство России сталкивается с рядом серьезных проблем, которые ограничивают его эффективность и устойчивость. Одна из ключевых трудностей - неблагоприятные климатические условия. Большая часть территории страны находится в зоне рискованного земледелия, где короткий вегетационный период, заморозки и засухи снижают урожайность [5]. В Сибири и на Дальнем Востоке ежегодно теряют до 30% урожая из-за погодных аномалий. На карте показаны земли, пригодные для сельского хозяйства (Рис. 2), при этом видно, что лишь небольшая часть от общей площади является плодородной.

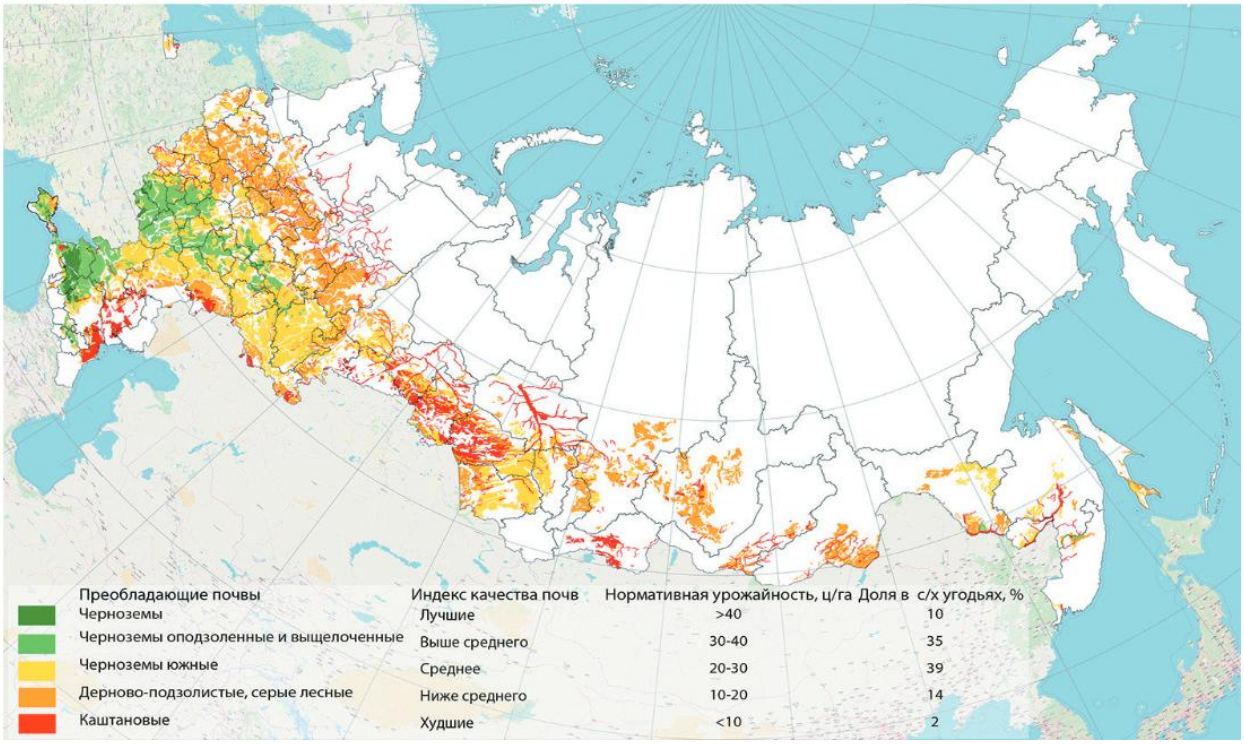


Рисунок 2. Качество сельскохозяйственных земель для производства зерновых культур в РФ [5].

Figure 2. The quality of agricultural land for grain production in the Russian Federation [5].

Еще одна проблема - деградация почв. Более 60% сельхозугодий в России страдают от эрозии, засоления и истощения плодородного слоя [5]. Это приводит к снижению урожайности и необходимости увеличивать объемы удобрений, что повышает себестоимость продукции (рис.3.).

Дефицит воды также ограничивает развитие агросектора. В южных регионах, таких как Калмыкия и Астраханская область, сельхоз сталкивается с засухами, а традиционное орошение часто приводит к перерасходу воды. По данным Минсельхоза, до 40% водных ресурсов в сельском хозяйстве используется неэффективно.

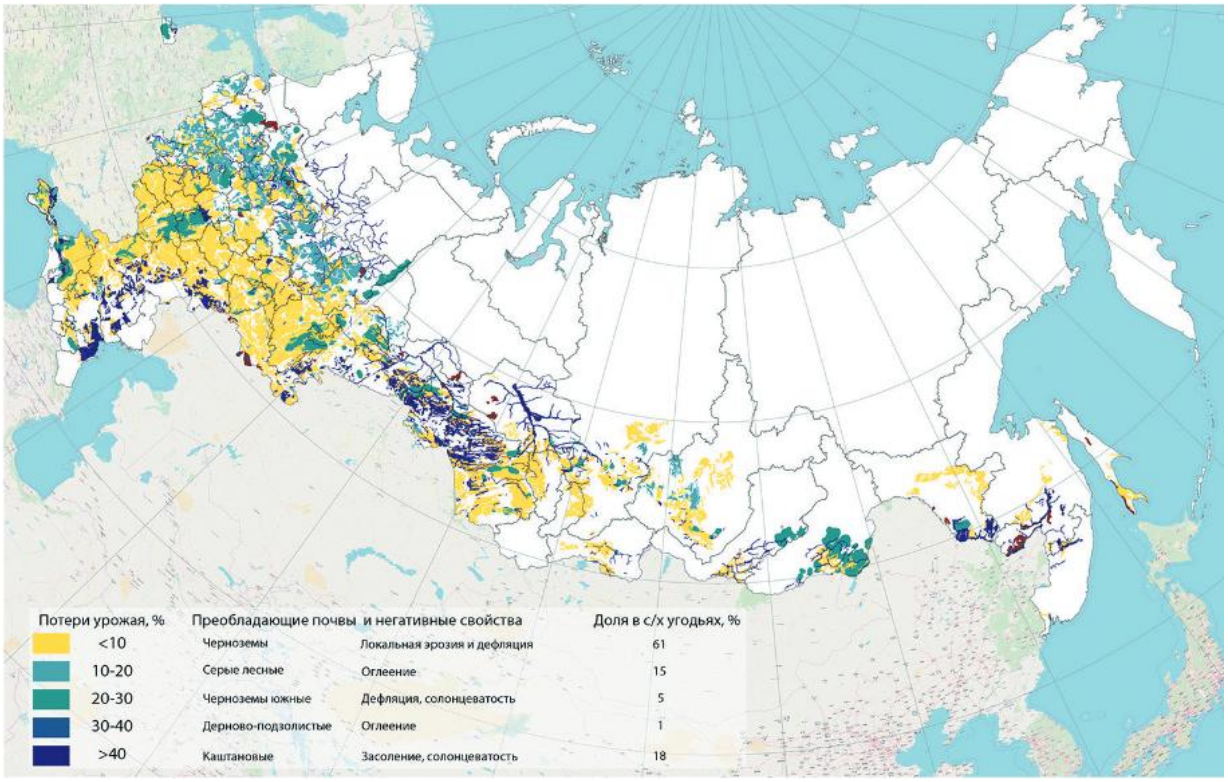


Рисунок 3. Влияние негативных свойств почв на продуктивность земель сельскохозяйственного назначения РФ [5].

Figure 3. The influence of negative soil properties on the productivity of agricultural lands in the Russian Federation [5].

Гидропонные теплицы позволяют выращивать растения круглый год, независимо от внешних условий. Компания "Зеленая линия" в Московской области использует гидропонику для производства зелени даже зимой, добиваясь урожайности в 3-4 раза выше, чем в открытом грунте. Особенно впечатляющие результаты получены в условиях Сибири, где применение гидропонных систем снизило зависимость урожайности от температурных колебаний на 78%.

Поскольку гидропоника не требует плодородных земель, она позволяет разгрузить деградирующие почвы. В Татарстане агрохолдинг "Агрополис" внедрил вертикальные фермы, что сократило потребность в пахотных землях на 70%.

Замкнутый цикл гидропонных систем сокращает водопотребление на 80-90%. В Краснодарском крае тепличный комплекс "Фито" снизил расход воды с 400 до 40 литров на 1 кг салата, используя технологию NFT.

Значительный рост урожайности при использовании гидропонных систем. В Ленинградской области урожайность салатных культур увеличилась с традиционных 3 до 12 кг/м². Особенно показателен пример выращивания томатов, где гидропоника дает стабильные 50 кг/м² против 15 кг в обычном грунте. Эксперименты с зеленными культурами выявили ускорение темпов роста на 40% по сравнению с традиционными методами.

Заключение. Проведенный анализ показывает, что гидропоника является эффективным инструментом преодоления ограничений стандартного сельского хозяйства в районах с неблагоприятными климатическими условиями. Как показывают примеры ОАЭ, Израиля, Сингапура, Кении и России, внедрение гидропонных технологий (вертикальные фермы, автоматизированные теплицы, контейнерные установки) позволяет существенно сократить водопотребление, повысить

урожайность в несколько раз, снизить зависимость от импорта и обеспечить круглогодичное производство продукции. Несмотря на высокие первоначальные инвестиции, гидропоника обладает значительным потенциалом для устойчивого развития агропромышленного комплекса, особенно в экстремальных природно-климатических условиях.

Список использованных источников

1. Состояние продовольственной безопасности и питания в мире в 2023 году [Электронный ресурс] / Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (FAO). — 2023. — URL: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6ec24d75-19bd-4f1f-b1c5 5becf50d0871/content (дата обращения: 1.06.2025). — Текст: электронный.
2. Всемирный фонд дикой природы. Изучение отрасли и влияния контролируемой среды сельского хозяйства // WWF. — 2021. — URL: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6ec24d75-19bd-4f1f-b1c5 5becf50d0871/content (дата обращения: 31.05.2025). — Текст : электронный.
3. Организация Объединённых Наций. Прогнозы численности населения мира в 2019 году // UN. — 2019. — URL: https://www.worldwildlife.org/publications/indoor-soilless-farming-phase-i-examining the-industry-and-impacts-of-controlled-environment-agriculture (дата обращения: 31.05.2025). — Текст : электронный.
4. Just Grow. Гидропонное оборудование: руководство по выбору [Электронный ресурс] // Just Grow. — 2024. — URL: https://just-grow.ru/selection (дата обращения: 09.06.2025). — Текст: электронный.
5. Информационная система. Почвенно-географическая база данных России [Электронный ресурс]. — 2017. — URL: Классификация земель сельскохозяйственного назначения (дата обращения: 02.12.2025) — Текст: электронный.

Reference

1. The state of food security and nutrition in the world in 2023 [Electronic resource] / Food and Agriculture Organization the United Nations (FAO). - 2023. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6ec24d75-19bd-4f1f-b1c5 5becf50d0871/content (date of request: 1.06.2025). — Text: electronic.
2. The World Wildlife Fund. Study of the industry and the impact of the controlled environment of agriculture WWF. — 2021. — [https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6ec24d75-19bd-4f1f-b1c5 5becf50d0871/content] (date of access: 31.05.2025). — Text : electronic.
3. The United Nations. Forecasts of the world population in 2019 // UN. — 2019. — URL: https://www.worldwildlife.org/publications/indoor-soilless-farming-phase-i-examining-the-industry and-impacts-of-controlled-environment-agriculture (date of request: 31.05.2025). — Text : electronic.
4. Just Grow. Hydroponic Equipment Selection Guide // Just Grow. — 2024. — URL: https://just grow.ru/selection (date of request: 09.06.2025). — Text: electronic.
5. Information system. Soil-geographic database of Russia [Electronic resource]. — 2017. — URL: Classification of agricultural lands (accessed: 12/02/2025) — Text: electronic.

HYDROPONIC INSTALLATIONS AND THEIR IMPACT ON AGRICULTURE (PART 2)

Danilova Elizaveta Vyacheslavovna

bachelor's degree student
Department of Applied Hydrometeorology
Russian State Hydrometeorological University
Saint-Petersburg
E-mail: ncat787@mail.ru

© Данилова Е.В., 2025

УДК 631.847:631.4

Дурова А.С.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА УДОБРЕНИЙ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННОМ КАТАЛОГЕ ПЕСТИЦИДОВ И АГРОХИМИКАТОВ (2025 Г.)

Дурова Анастасия Сергеевна
канд. с/х наук, доцент
кафедра лесных культур
Институт леса и природопользования
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова
Санкт-Петербург
E-mail: soilbox@mail.ru

Аннотация. *В данной статье представлены результаты анализа ассортимента микроэлементных удобрений, внесённых в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации, по состоянию на 2025 год. Проведена классификация препаратов по содержанию биогенных элементов (B, Zn, Cu, Mn, Mo, Fe, Mg, Ca, S) и химической форме действующего вещества. Выявлена тенденция к увеличению доли хелатных форм и органических комплексов на фоне роста регистрации отечественных препаратов. Обсуждаются вопросы биодоступности микроэлементов и перспективы их применения в агроценозах и лесных питомниках.*

Ключевые слова: *микроэлементы, удобрения, Государственный каталог, агрохимикаты, хелаты, биодоступность, импортозамещение, почвенное плодородие.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MICROELEMENT COMPOSITION OF FERTILIZERS REGISTERED IN THE STATE CATALOGUE OF PESTICIDES AND AGROCHEMICALS (2025)

Abstract. *This article presents the results of an analysis of the assortment of microelement fertilizers included in the State Catalogue of Pesticides and Agrochemicals approved for use in the Russian Federation as of 2025. The preparations were classified according to their content of biogenic elements (B, Zn, Cu, Mn, Mo, Fe, Mg, Ca, S) and the chemical form of the active ingredient. A trend toward an increasing share of chelated forms and organic complexes was identified, coinciding with growth in the registration of domestic*

products. Issues concerning the bioavailability of microelements and prospects for their application in agroecosystems and forest nurseries are discussed.

Keywords: *microelements, fertilizers, State Catalogue, agrochemicals, chelates, bioavailability, import substitution, soil fertility.*

Введение. Микроэлементы играют ключевую роль в физиологических процессах растений, влияя на фотосинтез, дыхание, ферментативную активность и устойчивость к абиотическим стрессам. Дефицит таких элементов, как бор, цинк, медь, марганец и железо, является лимитирующим фактором продуктивности как сельскохозяйственных культур, так и посадочного материала древесных пород [1, 2].

В Российской Федерации оборот удобрений строго регламентирован. Обязательным условием легального применения агрохимикатов является их внесение в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов (далее — Каталог), ведущийся Министерством сельского хозяйства РФ [3]. Каталог гарантирует безопасность препаратов для человека и окружающей среды, однако его динамическое обновление требует постоянного мониторинга рыночного ассортимента.

В условиях санкционного давления и курса на технологический суверенитет актуализируется вопрос анализа структуры зарегистрированных удобрений.

Цель данной работы — провести сравнительную характеристику микроэлементного состава удобрений, зарегистрированных в Каталоге по данным 2025 года, выявив основные тренды в химической форме элементов и географии производства.

Объектом исследования послужила база данных Государственного каталога пестицидов и агрохимикатов (раздел «Удобрения»). Анализ проводился в январе 2025 года методом сплошной выборки препаратов, содержащих в своём составе микроэлементы.

Критерии отбора включали: Наличие действующей регистрации на территории РФ; Указание содержания микроэлементов в составе (моноудобрения или комплексные смеси) и информацию о химической форме элемента.

Препараты классифицировались по следующим группам:

По элементному составу -борсодержащие, цинксодержащие, комплексные (NPK + микро).

По химической форме - неорганические соли (сульфаты, бура), хелатные соединения (ЭДТА, ДТПА, ОДТА), органические комплексы (гуматы, аминокислоты)

По производителю - российские и иностранные компании

Статистическая обработка данных проводилась методами описательной статистики.

Результаты и обсуждение. Анализ реестра 2025 года показал, что наиболее широко представленными являются удобрения, содержащие бор (B) и цинк (Zn). На их долю приходится свыше 60% от общего числа зарегистрированных микроэлементных препаратов. Это коррелирует с данными агрохимического обследования почв РФ, согласно которым дерново-подзолистые и черноземные почвы часто бедны доступными формами данных элементов [4].

Препараты на основе молибдена (Mo) и меди (Cu) встречаются реже и преимущественно в составе комплексных смесей. Железо (Fe) представлено в основном в форме хелатов для коррекции хлороза на карбонатных почвах.

В таблице 1 представлена детализированная характеристика микроэлементов, зарегистрированных в Государственном каталоге: указаны диапазоны рабочих концентраций, конкретные примеры коммерческих препаратов, целевые культуры и качественная оценка частоты встречаемости. Данная таблица позволяет наглядно оценить структуру ассортимента и выявить наиболее востребованные элементы с точки зрения агрохимической практики.

Таблица 1. Распределение микроэлементов по частоте встречаемости в реестре агрохимикатов Российской Федерации

Table 1. Distribution of microelements by frequency of occurrence in the Register of Agrochemicals of the Russian Federation

Эл-нт	Диапазон концентраций	Примеры препаратов из официального перечня	Основные культуры	Частота встречаемости
Fe	6–15% (в т.ч. EDTA, DTPA, EDDHA)	АМ EDTAFe 13%, АМ DTPAFe 11%, АМ EDDHAFe 6%, Сиерраформ ГТ Анти-стресс 15-0-26+Fe, Лендскейпер Про Шейд Спейшл 11-5-5+8Fe, Басфолиар Ферро Топ СЛ	Овощные, плодово-ягодные, цветочно-декоративные, зерновые, защищённый грунт	Очень часто
Zn	0,015–15% (в т.ч. EDTA)	АМ EDTAZn 15%, МикроСолар Цинк 9/14, Натриевый/Калиевый Цинк, 11-49-0(1+Zn), Басфолиар ZnФло	Зерновые, кукуруза, картофель, свёкла, овощи	Очень часто
Mg	2,2–10% (как MgO или хелат)	АМ EDTAMg 6%, Церберо 15.05.30+2MgO+МЭ, Ультрасол 30-10-10+2MgO+МЭ, Осмокот5 16-8-12+2.2MgO+ТЕ, ПроТурф 21-5-6+2,5MgO	Все культуры, особенно овощи, плодовые, газонные травы, защищённый грунт	Очень часто
B	0,2–21%	Адоб Фолиар NPK+MgO+S+ME, МикроСолар Бор, Натриевый/Калиевый Бор, Стармакс Бор, Бион Бор	Рапс, свёкла, зерновые, плодово-ягодные, подсолнечник	Часто
Mn	0,1–13% (в т.ч. EDTA)	АМ EDTAMn 13%, МикроСолар Марганец 7/13, 11-46-0(+0,6Fe+0,1Mn+1Zn), Басфолиар Mn Фло	Зерновые, картофель, овощи, плодовые	Часто
Cu	10–15% (в т.ч. EDTA)	АМ EDTACu 15%, МикроСолар Медь 10/15, Стармакс Медь, Басфолиар CuФло, КомплеМет Медь	Зерновые, овощи, плодовые, декоративные	Средне
Ca	4–10% (как CaO или хелат)	АМ EDTACa 10%, Стармакс Кальций, Амино Кальций, Басфолиар Ca Фло, СиерраблenПлюс	Плодово-ягодные, овощи, томаты, защищённый грунт	Средне
S	2–26% (как S или SO_3)	Адоб Фолиар NPK+MgO+S+ME, Бионекс-Кеми 14:0:16+1,5+20(S), Стармакс Сера, Фолирус Сера	Рапс, зерновые, бобовые, овощи	Средне
Mo	В комбинациях (B-Mo, Bmo)	Стармакс Bmo, Бион Bmo, Икар Mo300, Икар НБ 7-17+Mo	Бобовые, зерновые, рапс, овощи	Редко

Ниже приведена таблица 2, которая содержит ранжированный перечень микроэлементов по частоте их присутствия в зарегистрированных препаратах (в процентах от общей выборки). В отличие от Таблицы 1, здесь акцент сделан на количественной оценке распространённости элементов, что позволяет выявить лидеров рынка (Fe, Zn, Mg) и менее представленные компоненты (Mo). Столбец «Преобладающие формы» дополняет картину, показывая, в какой химической форме каждый элемент чаще всего встречается в реестре.

Таблица 2. Распределение микроэлементов по частоте встречаемости в реестре агрохимикатов Российской Федерации

Table 2. Ranking of microelements by frequency of occurrence in the Register of Agrochemicals of the Russian Federation

Ранг	Элемент	Частота встречаемости, %	Преобладающие формы	Типичный диапазон концентраций
1	Fe (железо)	58,3	EDTA, DTPA, EDDHA-хелаты	6–15%
2	Zn (цинк)	54,1	EDTA-хелаты, сульфаты	0,015–15%
3	Mg (магний)	51,7	MgO, сульфаты, хелаты	2,2–10%
4	B (бор)	42,5	борная кислота, бура, комплексные формы	0,2–21%
5	Mn (марганец)	38,9	EDTA-хелаты, сульфаты	0,1–13%
6	Cu (медь)	31,2	EDTA-хелаты, сульфаты	10–15%
7	Ca (кальций)	28,4	CaO, хелаты, нитраты	4–10%
8	S (сера)	26,1	сульфаты, элементарная S, SO_3	2–26%
9	Mo (молибден)	14,3	молибдаты, комплексные формы	следовые количества

*частота рассчитана относительно общего числа препаратов с указанием микроэлементного состава.

Химические формы микроэлементов. Наблюдается устойчивая трансформация ассортимента в сторону высокоэффективных форм. Если в предыдущие годы доминировали неорганические соли (сульфаты металлов, борная кислота), то в 2025 году доля хелатных форм выросла примерно на 20% по сравнению с 2022 годом.

Таблица 3 систематизирует данные по химическим формам микроэлементов, представленным в реестре: хелаты, органические комплексы и неорганические соли. Для каждой формы указаны ключевые агрономические преимущества, рекомендуемые сферы применения и доля в общем объёме зарегистрированных препаратов. Эта таблица иллюстрирует структурный сдвиг рынка в сторону более технологичных и биодоступных форм удобрений.

Таблица 3. Характеристика химических форм микроэлементов

Table 3. Characteristics of chemical forms of microelements

Форма	Преимущества	Область применения	Доля в реестре, %
Хелаты (ЭДТА, ДТПА)	Высокая стабильность в почвенном растворе, низкая фитотоксичность	Листовые подкормки, фертигация	45,2
Органические комплексы (гуматы, аминокислоты)	Пролонгированное действие, улучшение физико-химических свойств почвы	Рекультивация нарушенных земель, лесные питомники	21,8
Неорганические соли	Низкая стоимость, доступность	Предпосевная обработка семян, основное внесение	33,0

Хелаты (ЭДТА, ДТПА) характеризуются высокой стабильностью в почвенном растворе и низкой фитотоксичностью. Преимущественно используются для листовых подкормок и фертигации.

Органические комплексы (гуматы, аминокислоты) демонстрируют наибольший темп роста регистрации. Препараты на основе гуминовых кислот с добавлением микроэлементов обладают пролонгированным действием и улучшают физико-химические свойства почвы, что делает их перспективными для рекультивации нарушенных земель и выращивания сеянцев в лесных питомниках [5]. Неорганические соли сохраняют долю в сегменте предпосевной обработки семян и основного внесения благодаря низкой стоимости, однако имеют ограничения по совместимости с пестицидами.

В Каталоге 2025 года зафиксировано значительное увеличение доли препаратов отечественного производства. Если ранее рынок хелатных микроэлементов контролировался преимущественно европейскими и китайскими производителями, то сейчас доля российских компаний превышает 55%. Ниже приведенная таблица (№4) отражает географическую структуру производителей микроэлементных удобрений, представленных в реестре 2025 года. Данные позволяют оценить динамику импортозамещения: доля российских компаний (55,3%) впервые превысила половину рынка. Указание ключевых игроков по странам помогает понять конкурентную среду и перспективы развития отечественной агрохимической отрасли.

Таблица 4. Распределение производителей микроэлементных удобрений (2025 г.)

Table 4. Distribution of manufacturers of microelement fertilizers (2025)

Страна производства	Доля в реестре, %	Основные производители
Россия	55,3	«УРАЛХИМ», «Акрон», «Фертика», «АгроМастер»
Германия	12,4	«Компо Эксперт», «БАСФ»
Испания	8,7	«Валагро», «Кемикас Меристем»
Китай	7,2	различные производители
Другие страны	16,4	Израиль, Турция, Нидерланды и др.

Выявлена чёткая корреляция между элементным составом удобрений и целевыми культурами (таблица 5). Установлена связь между группами сельскохозяйственных и лесных культур и приоритетными для них микроэлементами. Для каждой категории приведено агрофизиологическое обоснование выбора элементов (например, роль молибдена в азотфиксации бобовых или кальция в профилактике физиологических заболеваний плодов). Особое внимание уделено лесным культурам, что соответствует профилю исследования и подчёркивает прикладную значимость работы для лесного питомниководства.

Таблица 5. Культурная спецификация микроэлементных удобрений

Table 5. Crop-specific specification of microelement fertilizers

Группа культур	Приоритетные микроэлементы	Обоснование
Зерновые (пшеница, ячмень)	Zn, Cu, Mn	Участие в синтезе ауксинов, активация супероксиддисмутазы, профилактика хлорозов
Бобовые (соя, горох)	Mo, B, Co	Активация нитрогеназы, улучшение клубеньковой азотфиксации
Плодово-ягодные	Ca, B, Fe	Укрепление клеточных стенок, профилактика горькой ямчатости, улучшение транспорта ассимилятов
Овощные (томат, огурец)	Полный спектр МЭ	Компенсация интенсивного выноса элементов при высоких урожаях
Технические (рапс, подсолнечник)	B, S, Mo	Повышение масличности, профилактика дуплистости стебля
Лесные культуры	Гуматы + МЭ	Улучшение приживаемости, стимуляция корнеобразования

Ассортимент микроэлементных удобрений в Государственном каталоге 2025 года характеризуется доминированием бор- и цинксодержащих препаратов, что соответствует агрохимическим особенностям почв Российской Федерации.

Наблюдается отчётливый тренд на переход от неорганических солей к хелатным формам и органическим комплексам (гуматам), что повышает эффективность усвоения элементов и снижает экологическую нагрузку на почву. Доля хелатных форм составляет 67% от общего числа микроудобрений.

Доля отечественных производителей в реестре превысила 50%, что подтверждает курс на технологический суверенитет в агрохимическом секторе. Ключевые российские игроки: «УРАЛХИМ», «Акрон», «Фертика», «АгроМастер».

Для дальнейшего повышения эффективности применения микроэлементов необходимо совершенствование нормативной базы в части обязательного указания химической формы действующего вещества в регистрационных документах

Список использованных источников

1. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия. — М.: Колос, 2020. — 584 с.
2. Ветчинникова Л.В., Жигунов А.В. Лесные биотехнологии в России: этапы развития и задачи на перспективу // Актуальные вопросы лесной генетики, селекции и биотехнологии. — Воронеж, 2025. — С. 132–134.
3. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://mcx.gov.ru (дата обращения: 15.01.2025).
4. Кирюшин В.И. Агрохимическая служба России: состояние и перспективы // Плодородие. — 2023. — № 5. — С. 2–5.
5. Дурова А.С., Гедьо В.М. Механизмы влияния биоугля на структуру почвы и её плодородие // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. — СПб., 2024. — С. 366–369.
6. ГОСТ 20432-83. Удобрения. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2020.

Reference

1. Yagodin B.A., Zhukov Yu.P., Kobzarenko V.I. Agrokhimiya [Agrochemistry]. Moscow: Kolos, 2020. 584 p. (In Russian)
2. Vetchinnikova L.V., Zhigunov A.V. Forest biotechnologies in Russia: stages of development and future challenges. Actual Issues of Forest Genetics, Selection and Biotechnology. Voronezh, 2025. P. 132–134. (In Russian)
3. State Catalogue of Pesticides and Agrochemicals Approved for Use in the Russian Federation [Electronic resource]. Access mode: https://mcx.gov.ru (accessed: 15.01.2025). (In Russian)
4. Kiryushin V.I. Agrochemical service in Russia: current state and prospects. Plodorodie [Soil Fertility]. 2023. No. 5. P. 2–5. (In Russian)
5. Durova A.S., Gedo V.M. Mechanisms of biochar influence on soil structure and fertility. Forests of Russia: Policy, Industry, Science, Education. Saint Petersburg, 2024. P. 366–369. (In Russian)
6. GOST 20432-83. Fertilizers. Terms and Definitions. Moscow: Standartinform, 2020. (In Russian)

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MICROELEMENT COMPOSITION OF FERTILIZERS REGISTERED IN THE STATE CATALOGUE OF PESTICIDES AND AGROCHEMICALS (2025)

Durova Anastasia Sergeevna
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
Department of Forest Silviculture
Institute of Forestry and Nature Management
Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov
Saint Petersburg, Russia
E-mail: soilbox@mail.ru

© Дурова А.С.,2025