

Научный журнал

# ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

"НАУКА О ЗЕМЛЕ И  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ"

**GEOINFORMATION  
MODELING**

ВЫПУСК 1 (1)  
2026

АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО РАЗВИТИЮ ПРИРОДНОГО  
ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИЙ «УНИКАЛЬНЫЕ ЛАНДШАФТЫ»

---

*Научный журнал*

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Том 1, Выпуск 1, 2025

Санкт-Петербург

2025

Выпуск рассмотрен и рекомендован к изданию  
Редакционным советом

**Редакционный совет:**

**М. Р. Вагизов**, доктор технических наук, доцент (главный редактор),  
**Н. В. Меламед**, кандидат технических наук, доцент, (зам. гл. редактора)  
**Е. П. Истомина**, 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 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  
**Д. А. Ковалёв**, кандидат технических наук, доцент  
**А. С. Дурова**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

**Учредитель:**

АНО РППТ «Уникальные ландшафты»

**Адрес редакции:** г. Санкт-Петербург, вн.тер.г. муниципальный округ Ульянка, ул.  
Стойкости, д. 37, литера А, кв. 56

**E-mail:** geogml@bk.ru

**Сайт:** <https://geogml.ru>

**Издатель:** ООО "ИПФ "Бриг", г. Казань, ул. Академическая, д.2, офис 009

**Компьютерная верстка:** Витлев К. А.

**Редактор:** Вагизова А. В.

Геоинформационное моделирование: Научный журнал. Том 1. вып. 1/ отв. ред.  
М.Р.Вагизов. – Казань, Изд-во «Бриг», 2025 – 76 с.

ISBN 978-5-98946-417-3

ISBN 978-5-98946-417-3

© АНО РППТ УНЛАНД, 2025

© ООО «ИПК «Бриг», оформление, 2025



### **Уважаемые читатели!**

Поздравляем всех с выходом нового научного журнала **«Геоинформационное моделирование»**, первого его выпуска. Наш мир удивительный во всех его смыслах, каждый из учёных старался постичь его, внося определённый вклад, исследуя его системы и всё-то многообразие, которым он обладает. Пусть данный журнал привнесёт небольшую частичку в его освоение, систематизируя, публикуя и храня ценную информацию наших авторов. Ведь именно предсказывая, создавая точные компьютерные модели природных систем, возможно, перейти к их процессам управления, узнать причины и следствия многих явлений на земле, определить зависимости и установить новые взаимосвязи окружающего мира, которые ещё предстоит осознать и осмыслить. Мы надеемся, что наш журнал будет полезен не только учёным, но и всем кто интересуется природными и техническими системами, проблемами и состоянием нашей планеты и экологии. Вместе мы должны объединить усилия для сохранения всего биоразнообразия, прийти к гармонизации отношения с природой, а современные технологии вполне способны обеспечить поддержкой нас на этом пути.

Издательство нашего журнала посвящено передовым исследованиям, технологиям и практикам в области геоинформатики, системного анализа, пространственного анализа и моделирования природных и антропогенных систем, проблем в сфере геоэкологии. Мы стремимся объединить усилия ученых, специалистов и практиков для обмена актуальными знаниями, опытом и решениями в сфере геоданных, геоэкологии и геоинформационных систем направленных на выявление существующих проблем окружающей среды и выработку научно-обоснованных решений по их улучшению и развитию.

*С уважением Главный редактор журнала «Геоинформационное моделирование» доктор технических наук, доцент **Вагизов Марсель Равильевич**.*

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned below the text of the editor's name.



**Дорогие коллеги!**

В научном журнале **«Геоинформационное моделирование»** представлены публикации учёных, обучающихся, исследователей, аспирантов, преподавателей и отраслевых специалистов, интересующихся науками о Земле и окружающей среде, темы журнала охватывают широкий спектр по применению современных информационных технологий для решения экологических проблем и различных прикладных задачах.

На Земле каждая клеточка несёт в себе образ единого организма, который помогает ей найти своё место в его развитии.

Люди являются одними из немногих существ планеты Земля, способные осознавать себя не только как человечество, но и как часть единого организма планеты и участвовать в процессе движения к общему с ним процветанию.

Этот процесс немыслим без формирования образа планеты Земля, в том числе и методами, которым посвящается журнал.

Надеемся, что он внесёт свою лепту в этот исторический процесс перехода Биосферы в Ноосферу.

*С уважением Генеральный директор АНО РППТ  
"Уникальные ландшафты" **Леонов Евгений Леонидович***

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Леонев' (Leonov), with a long horizontal stroke extending to the left.

## О журнале

В научном журнале *«Геоинформационное моделирование»* представлены публикации учёных, обучающихся, исследователей, аспирантов, преподавателей и отраслевых специалистов, интересующихся науками о Земле и окружающей среде, применению информационных технологий для решения экологических проблем и развития научного направления «Геоинформационного моделирования». Все публикации проходят тщательное двустороннее слепое рецензирование. Журнал выпускается 4 раза в год. Плата за публикацию статей не взимается.

Издательство нашего журнала посвящено передовым исследованиям, технологиям и практикам в области геоинформатики, цифрового картографирования, пространственного анализа и моделирования природных и антропогенных систем. Мы стремимся объединить усилия ученых, специалистов и практиков для обмена актуальными знаниями, опытом и решениями в сфере геоданных, геоэкологии и геоинформационных систем (ГИС) направленных на выявление существующих проблем окружающей среды и выработку научно-обоснованных решений.

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗДЕЛ ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ

**С. Д. Михалева, М. Р. Вагизов.** Определение пробных площадей для проведения аэрофотосъемки мухинского болота .....**5-10**

**А. А. Костерева.** Разработка геопространственной базы данных для объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры.....**11-19**

### РАЗДЕЛ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СТАТИСТИКА

**К. А. Витлев, В. С. Челпанов.** Разработка интерактивного пользовательского интерфейса для интеллектуальной геоинформационной системы: опыт и перспективы.....**20-27**

**С. П. Хабаров, М. Р. Вагизов.** Разработка методики маршрутизации БВС при мониторинге небольших участков лесного фонда .....**28-37**

**А. М. Заяц, М. А. Васильев, Д. А. Абрамова, Э. Н. Баланин.** Приложение для транскрибации, анализа и коррекции голосового сообщения, посылаемого в чат-бот пользователем при экологическом мониторинге территории .....**38-43**

### РАЗДЕЛ ГЕОЭКОЛОГИЯ

**Р. М. Бобровская.** К проблеме скорости обезлесивания Республики Бразилия.....**44-53**

**О. Н. Колбина, А. Д. Берников, М. И. Служева, Д. М. Пункевич, В. Д. Лазарева** Использование физических методов для изучения загрязнения атмосферы.....**54-63**

**И. И. Гайфуллин.** Лесопаталогическое состояние лесов Ленинградской области .....**64-73**

УДК 004.9

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ МУХИНСКОГО БОЛОТА

**Михалева Софья Дмитриевна**<sup>1</sup>

бакалавр 4 курса ИЛИП

кафедра информационных систем и технологий, ФГБОУ ВО

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова

Санкт-Петербург

E-mail: [pozdeeva260303@gmail.com](mailto:pozdeeva260303@gmail.com)

**Вагизов Марсель Равильевич**<sup>1,2</sup>

доктор технических наук, доцент

<sup>1</sup>заведующий кафедрой информационных систем и технологий, ФГБОУ ВО

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова,

<sup>2</sup>профессор кафедры информационных технологий и систем безопасности,

Российский государственный гидрометеорологический университет

Санкт-Петербург

E-mail: [bars-tatarin@yandex.ru](mailto:bars-tatarin@yandex.ru)

**Аннотация.** Научная статья направлена на выбор пробных площадок для детальной съемки на территории Мухинского болота при помощи БАС, основываясь на вегетационном индексе MSAVI2. Был определен диапазон значений второго модифицированного почвенного индекса на исследуемой области, а именно [-0,656089; -0.17726]. А также на базе карты распределения MSAVI2 были выбраны 10 пробных участков радиусом 56 метров. Результаты работы могут быть полезны в исследовании растительности похожих болот для изучения ее динамики в рамках глобального потепления.

**Ключевые слова:** болото, вегетационный индекс, MSAVI2, беспилотные авиационные системы (БАС), пробные участки, спутниковые снимки, растительность, Мухинское болото, глобальное потепление, QGIS.

### IDENTIFICATION OF SAMPLE AREAS FOR AERIAL PHOTO SURVEY OF THE MUKHINSKY BOG

**Abstract.** This scientific article is aimed at selecting test sites for detailed photography in the Mukhinskoe swamp using UAVs, based on the vegetation index MSAVI2. Was determined the following range of values of the second modified soil index in the study area: [-0.656089; -0.17726]. Based on the MSAVI2 distribution map, were selected 10 test sites with a radius of 56 meters. The results of the work can be useful in studying the vegetation of similar swamps to study its dynamics in the context of global warming.

**Keywords:** swamp, vegetation index, MSAVI2, unmanned aerial vehicles (UAVs), test sites, satellite images, vegetation, Mukhinskoe swamp, global warming, QGIS.

**Введение.** В условиях глобального потепления, которое оказывает влияние на все экосистемы планеты, исследование болотной растительности приобретает особую ценность. Болота

представляют собой уникальные экосистемы, играющие ключевую роль в поддержании биологического разнообразия и регуляции водного баланса. Заинтересованность к болотам также подчеркивается их способностью поглощать углерод и выделять кислород.

Вариантом изучения растительного покрова болотистых территорий являются расчет вегетационных индексов и применение геоинформационных технологий. К примеру, одновременное использование полевых проб и методов дистанционного зондирования для понимания функций экосистем приливных болот было проведено учеными из Калифорнии [1]. Результаты показали, что растительность и содержание воды в пологе могут быть точно определены по спектральным данным дистанционного зондирования, таким как VI, ARVI, SAVI, SARVI и GEMI.

Иракские исследователи использовали вегетационный индекс NDVI для мониторинга изменения растительности в болотах Месопотамии, поскольку в период 2002-2018 годов болота на этой территории восстанавливались [2]. Анализ мониторинга показал, что зеленая биомасса болот увеличилась на 33,2% от общей площади за 17 лет.

В России также интересуются состоянием болот. Например, Томские специалисты оценили наземную продукцию растительности болотных экосистем ключевого участка в зоне южной тайги Западной Сибири в 305 г/м<sup>2</sup>/год при помощи NDVI [3]. А общее накопление углерода в наземной части растительности болот ключевого участка составило 794.6 тыс. т углерода в год.

Авторы данной статьи считают, что вследствие глобального потепления болота могут зарастать. Поэтому, существует потребность в детальном изучении болотистых территорий как в текущем, так и в прошлых состояниях. Это поможет определить последствия в изменении растительного покрова местности и возможно установить факторы влияющие на данные процессы. Одним из таких методов мониторинга является вычисление вегетационных индексов и проведение подробной аэрофотосъемки при помощи беспилотных авиационных систем (БАС).

Цель работы: рассчитать вегетационный индекс на исследуемой территории и на его основе определить места для проведения детальной съемки при помощи беспилотных авиационных систем (БАС).

**Общая характеристика объекта исследования.** Мухинское болото относится к Линдуловскому участковому лесничеству Роцинского лесничества Ленинградской области [4]. С запада болото граничит с железной дорогой и со всех сторон окружено садоводствами, в том числе частично занявшими его территорию.

**Методика обоснования и выбора пробных площадок.** В настоящей методике (рис. 1) представлен подход к исследованию болотистых территорий с использованием геоинформационных технологий.



**Рисунок 1.** Методика оценки территории для проведения БАС-съемки.

**Figure 1.** Methodic of estimation territory for UAV aerial photography

Во время подготовки данных решаются следующие вопросы:

1. Выбор периода съемки;
2. Определение границ изучаемой территории;

3. Поиск спутниковых снимков для проведения первичного анализа.

В качестве инструментов анализа данных может быть использован QGIS, который предоставляет широкие возможности для работы с геопространственной информацией.

Ключевой момент методологии — это расчет вегетационного индекса. В зависимости от характеристик местности данный фактор может быть различен. Результаты вычислений представляются в виде растрового слоя, в ячейках которого хранится значение выбранного индекса. Таким образом предоставляется возможность наглядно определить интересующие места, которые необходимо изучить подробнее при помощи детальной съемки.

Чаще всего выбирают конкретное количество пробных площадок для исследования. Такие участки должны охватывать как можно больший диапазон значений распределения индекса.

**Расчет вегетационного индекса.** Текущее исследование направлено на подготовку базы дальнейшего изучения Мухинского болота при помощи геоинформационных технологий, в частности проведения БАС-съемки на его территории, чтобы создать основу подробного дешифрирования местности в будущем. Для этого необходимо определить площади, которые имеют отличительные характеристики.

Спутниковые снимки Landsat 9 OLI/TIRS Collection 2 Level-2 датой съемки 05.06.2024 были взяты из портала USGS Earth Explorer [6]. Летний период соответствует пику вегетационного роста, что позволяет лучше оценить плотность растительности. В это время года спутниковые изображения более четкие и яркие, так как листья растений имеют насыщенный зеленый цвет.

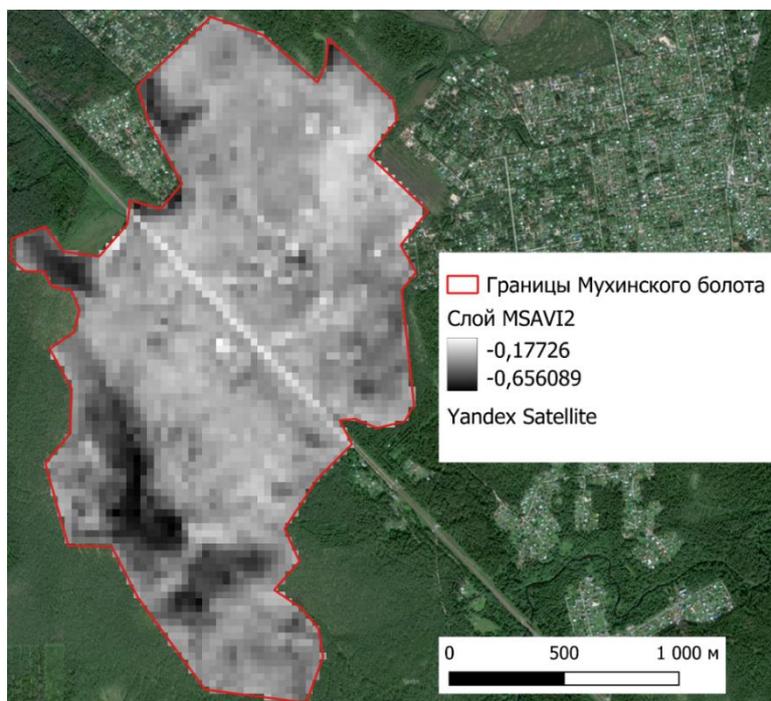
Расчеты и сопутствующая работа были проведены в среде QGIS [7]. А также в качестве спутникового снимка для обозначения мест аэрофотосъемки был взят Yandex Satellite из инструмента Quick MapServices QGIS.

В связи с тем, что объектом исследования является болотистая местность, характеризующаяся низкой плотностью растительного покрова, уместно использовать специализированный вегетационный индекс MSAVI2:

$$\text{MSAVI2} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED} - L} * (1 + L), (1)$$

$$\text{где, } L = 1 - \frac{2 * \text{NIR} + 1 - \sqrt{(2 * \text{NIR} + 1)^2 - 8 * (\text{NIR} * \text{RED})}}{2} (2)$$

MSAVI2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2) — это второй модифицированный почвенный индекс, разработанный Qi et al [5]. Индекс принимает значения от -1 до 1. Его корректирующий коэффициент L показывает зависимость от наблюдаемого растительного покрова. В индексе SAVI данный фактор фиксированный, что может исказить результаты вычисления, особенно в условиях различной растительности и почвы местности. MSAVI2 в свою очередь учитывает эти изменения. Результат вычисления MSAVI2 на территории Мухинского болота показан на рисунке 2.

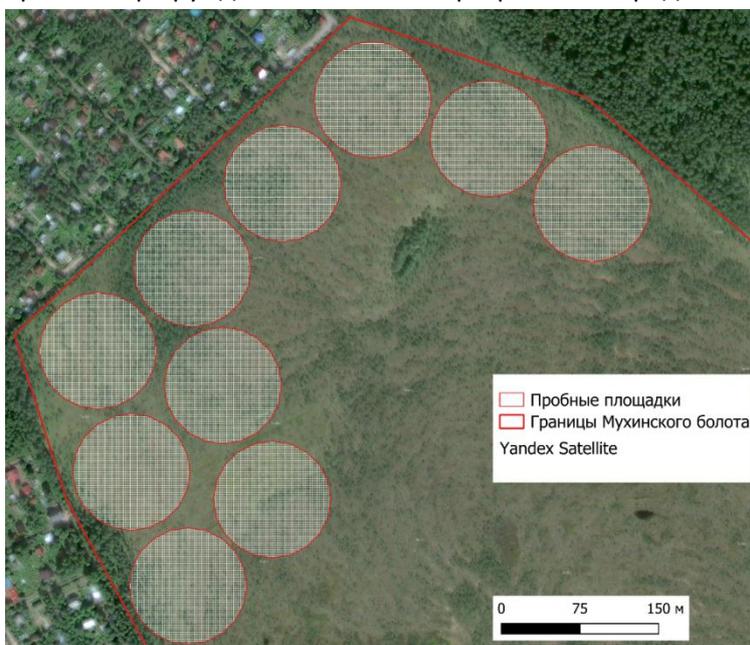


**Рисунок 2.** Визуализация распределения MSAVI2 в области Мухинского болота.

**Figure 2.** Visualisation of distribution MSAVI Index in Mukhinskiy swamp.

Из представленного выше геопространственного представления значений MSAVI2 на территории исследуемой территории можно заметить характерные для болотистой местности малые величины, а именно  $[-0,656089; -0.17726]$ . Это связано с преобладанием воды и низкой растительности рассматриваемой области.

Последним этапом подготовки к облету Мухинского болота стало определение мест, которые охватывают как более светлые, так и темные участки карты распределения MSAVI2. На рисунке 3 продемонстрированы примерные пробные площадки в виде 10 контрольных участков на основе которых будет сформирован маршрут для полета БАС в программной среде Litchi версии 4.22.1.



**Рисунок 3.** Пробные площадки для проведения съемки при помощи БАС.

**Figure 3.** Location of trial areas for UAV-systems surveys

Экспериментальные части Мухинского болота имеют площадь по 1 гектару, круговые площадки радиусом 56 метров. Данные, полученные впоследствии аэрофотосъемки, помогут определить степень и тип растительности болотистой местности, а периодичность проведение аэрофотосъёмки на заданной высоте, позволит сформировать банк геопространственной информации в динамике. Благодаря этому, появится возможность построить цифровые интерактивные карты с сопутствующими графиками, которые позволят следить за настоящим и прошлыми состояниями болота. В качестве критериев по оценке территории с использованием БАС планируется исследовать:

1. Состав растительности — оценка видов растительности на пробных площадках;
2. Структуру растительного покрова — анализ высоты, плотности и распределения растительности;
3. Здоровье растительности — визуальная оценка состояния растений;
4. Степень заболоченности — опеределение уровня затопления;
5. Степень загрязнения и засорения — оценка наличия инвазивных видов растений или отходов;
6. Динамику зарастания болота растительностью.

**Заключение.** Таким образом, исследование подчеркивает важность изучения состояний болотистых территорий с помощью геоинформационных технологий и вегетационных индексов в условиях глобальных изменений климата. Проведенные расчеты MSAVI2 показали, что на Мухинском болоте скудный растительный покров, а также, что он неравномерный, значения индекса находятся в интервале от -0,656089 до -0.17726. Вследствие чего был построен ориентировочный маршрут полета БАС для детального изучения растительности. Такой подход позволит в будущем построить цифровую карту для визуализации динамики растительности болота.

Методику, которую использовали авторы данной статьи, также можно применять для мониторинга такого ценного ресурса как болото не только на территории страны, но и на аналогичных болотах всего мира.

#### **Список использованных источников**

1. Zhang M. et al. Monitoring Pacific coast salt marshes using remote sensing //Ecological Applications. – 1997. – Т. 7. – №. 3. – С. 1039-1053.
2. Albarakat R., Lakshmi V. Comparison of normalized difference vegetation index derived from Landsat, MODIS, and AVHRR for the Mesopotamian marshes between 2002 and 2018 //Remote sensing. – 2019. – Т. 11. – №. 10. – С. 1245.
3. Дюкарев Е. А., Алексеева М. Н., Головацкая Е. А. Исследование растительного покрова болотных экосистем по спутниковым данным //Исследование Земли из космоса. – 2017. – №. 2. – С. 38-51.
4. ЛВПЦ Ленинградской области [Электронный ресурс]. <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-leningrad> (дата обращения: 19.03.2025).
5. GIS LAB: Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс]. <https://gis-lab.info/qa/vi.html> (дата обращения: 18.03.2025).
6. USGS Earth Explorer [Электронный ресурс]. <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 20.03.2025).
7. QGIS [Электронный ресурс]. <https://qgis.org/> (дата обращения 23.03.2025).

## Reference

1. Zhang M. et al. Monitoring Pacific coast salt marshes using remote sensing //Ecological Applications. – 1997. – T. 7. – №. 3. – C. 1039-1053.
2. Albarakat R., Lakshmi V. Comparison of normalized difference vegetation index derived from Landsat, MODIS, and AVHRR for the Mesopotamian marshes between 2002 and 2018 // Remote sensing. – 2019. – T. 11. – №. 10. – C. 1245.
3. Dyukarev E. A., Alekseeva M. N., Golovatskaya E. A. Study of vegetation cover of bog ecosystems using satellite data // Earth Exploration from Space. A. Study of vegetation cover of bog ecosystems using satellite data // Earth Exploration from Space. - 2017. - №. 2. - C. 38-51.
4. LVPC of the Leningrad Oblast [Electronic resource]. <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-leningrad> (date of address: 19.03.2025).
5. GIS LAB: Geographic Information Systems and Remote Sensing [Electronic resource]. <https://gis-lab.info/qa/vi.html> (date of address: 18.03.2025).
6. USGS Earth Explorer [Electronic resource]. <https://earthexplorer.usgs.gov/> (date of reference: 20.03.2025).
7. QGIS [Electronic resource]. <https://qgis.org/> (date of reference: 23.03.2025)

## ***IDENTIFICATION OF SAMPLE AREAS FOR AERIAL PHOTO SURVEY OF THE MUKHINSKY SWAMP***

**Mikhailjova Sofya D.**,<sup>1</sup> 4th year Bachelor's student  
Department of Information Systems and Technologies  
Saint-Petersburg State Forest technical University named after S. M. Kirov,  
Saint-Petersburg  
E-mail: [pozdeeva260303@gmail.com](mailto:pozdeeva260303@gmail.com)

**Vagizov Marsel R.**<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Associate Professor  
Head of the Department of Information Systems and Technologies.  
Saint-Petersburg State Forest technical University named after S. M. Kirov,  
<sup>2</sup>Professor of the department information technologies and security systems,  
Russian state hydrometeorological university  
Saint-Petersburg  
E-mail: [bars-tatarin@yandex.ru](mailto:bars-tatarin@yandex.ru)

## РАЗРАБОТКА ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

**Костерева Анастасия Андреевна**

аспирант 2 курса Института леса и природопользования

кафедра информационных систем и технологий

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова

Санкт-Петербург

E-mail: [kosterevanasta@gmail.com](mailto:kosterevanasta@gmail.com)

**Аннотация.** *Статья посвящена методологии создания геопрограмственной базы данных для объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры. Рассматриваются основные этапы проектирования, структурирования и внедрения базы данных. Пристальное внимание уделяется специфике и особенностям объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры*

**Ключевые слова:** *геопрограмственная база данных, культурное наследие, ландшафтная архитектура, ГИС, пространственный анализ, историческое наследие, сады и парки.*

## CREATING A GEOSPATIAL DATABASE FOR CULTURAL HERITAGE SITES OF THE LANDSCAPE ARCHITECTURES

**Abstract.** *The article is devoted to the methodology of creating a geospatial database for cultural heritage sites of landscape architecture. The main stages of database design, structuring and implementation are considered. Close attention is paid to the specifics and features of cultural heritage sites of landscape architecture*

**Keywords:** *geospatial database, cultural heritage, landscape architecture, GIS, spatial analysis, historical heritage, gardens and parks.*

**Введение.** Объекты культурного наследия ландшафтной архитектуры (ОКН ЛА) – уникальные многосоставные объекты, включающие в себя как природные, так и рукотворные компоненты, которые отражают исторические и социальные аспекты развития общества в различные периоды существования объекта [1]. Ландшафтные объекты постоянно видоизменяются под влиянием антропогенных факторов и естественных процессов.

У каждого исторического ландшафтного объекта существует огромный объем данных, который постоянно пополняется. Этот набор включает в себя данные о состоянии объекта, историческую информацию, данные о предмете охраны и тп. Для реализации комплексного подхода к сохранению и управлению такими объектами необходимо все имеющиеся данные систематизировать. Инструментом для грамотной систематизации может являться геопрограмственная база данных (ГБД), объединяющая в себе пространственную информацию с атрибутивными данными. [2]

Целью данной статьи является разработка методологии создания геопропространственной базы данных для объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры, учитывающей их специфику. ГБД создается на примере западной части парка Екатеринбург.

**Концептуальное проектирование базы данных** является первым этапом создания ГБД. В данный этап входит определение основных требований к системе ГБД, с учетом специфики ОКН ЛА, как видоизменяющихся систем, сочетающих в себе природные и антропогенные элементы [3].

При создании концептуального проекта базы данных были выделены требования к ГБД:

1. Возможность хранения и управления многомерными пространственными данными
2. Интеграция исторических и современных данных для анализа временной динамики
3. Поддержка различных типов данных (векторные, растровые, трехмерные модели, фотографии, документы)
4. Масштабируемость системы для включения новых объектов и типов данных

**Структура базы данных.** С учетом вышеописанных требований, структура ГБД должна включать такие компоненты как (Рис.1) :

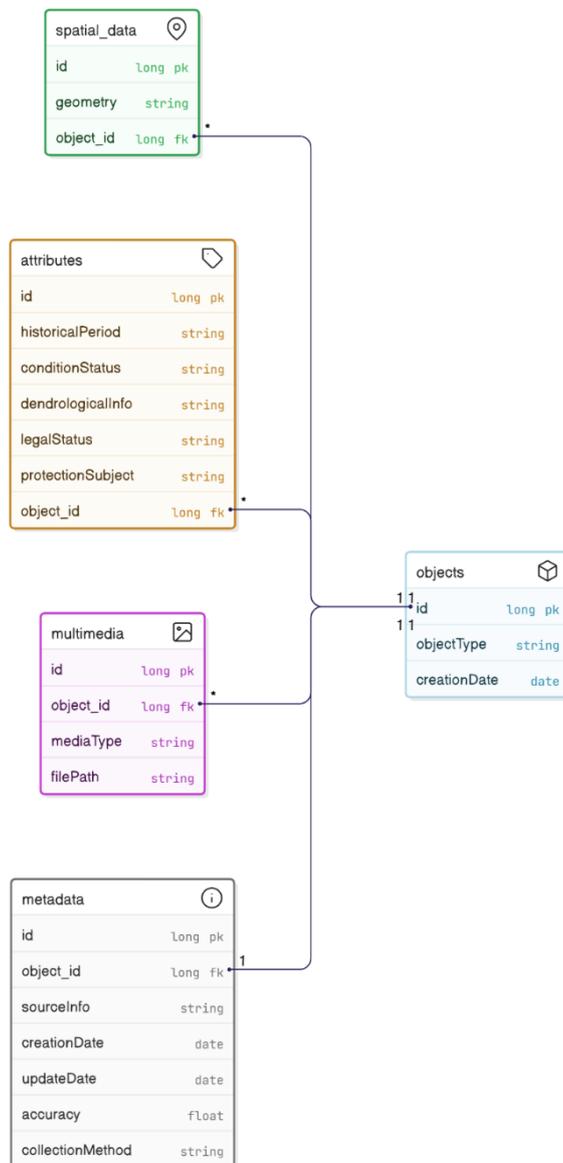
1. Пространственные данные – данные о местоположении объектов и их геометрических характеристиках
  - Границы территории объекта
  - Планировочная структура
  - Водные объекты
  - Рельеф местности
  - Растительность
  - Малые архитектурные формы и сооружения
2. Атрибутивные данные, содержащие информацию о характеристиках объектов:
  - Историческая информация (период создания, авторы, стилистика)
  - Данные о состоянии объектов
  - Дендрологическая информация
  - Правовая информация
  - Предмет охраны
3. Мультимедийные данные:
  - Иконография
  - Трехмерные модели объектов
4. Метаданные (данные о данных):
  - Информация об источниках данных
  - Дата создания и обновления записей
  - Точность и качество пространственных данных
  - Методы сбора и обработки информации



**Рисунок 1.** Концепция проекта базы данных

**Figure 1.** Database project concept

Для организации данных было принято решение использовать объектно-реляционную модель, которая представляет собой систему взаимосвязанных таблиц (Рис.2). Каждая таблица хранит информацию о конкретном типе данных.



**Рисунок 2.** Модель объектно-реляционной базы данных

**Figure 2.** Object-relational database model

**Сбор и интеграция данных.** Для наполнения геопространственной базы данных необходимо использовать различные источники информации и методы сбора данных:

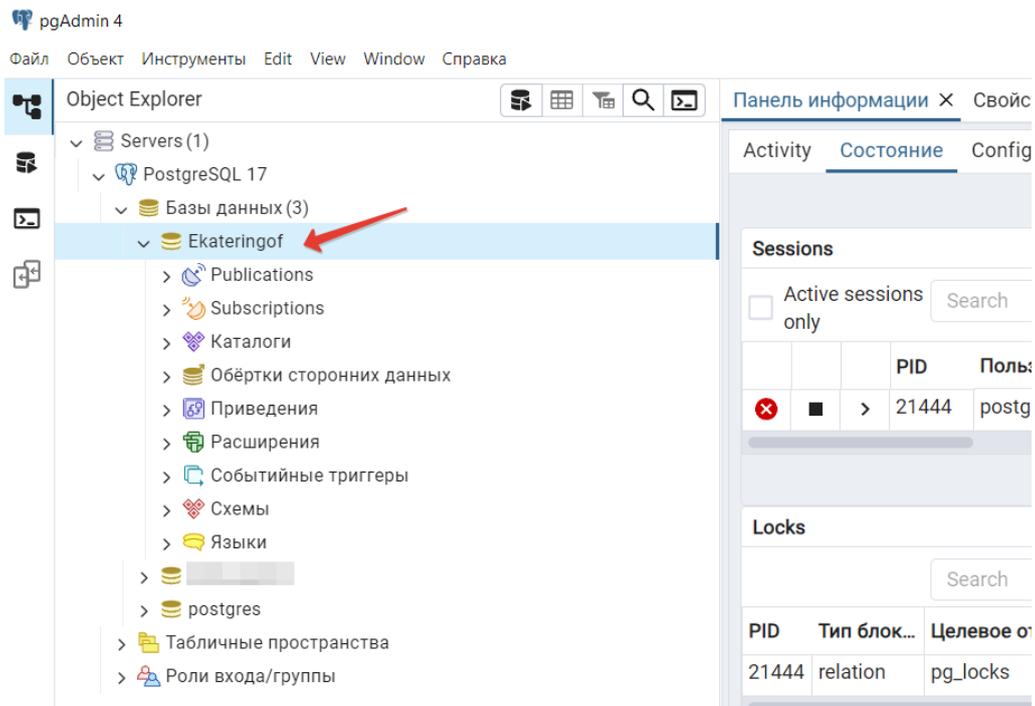
1. Полевые исследования:
  - Обмер дорожно-тропиночной сети и сохранившихся архитектурных элементов
  - Дендрологические обследования растительности с выявлением старовозрастных насаждений и определением их возрастов
  - Фотофиксация современного состояния объектов
  - Спутниковые снимки высокого разрешения
  - Лазерное сканирование
  - Фотограмметрия
2. Архивные источники:
  - Исторические карты и планы
  - Архивные фотографии и рисунки
  - Письменные источники (описания, путеводители, мемуары)
  - Проектная документация
3. Данные ГИС:
  - Кадастровые данные
  - Материалы инвентаризации зеленых насаждений
  - Данные государственных реестров объектов культурного наследия

Для решения проблемы интеграции разнородных данных применяются методы геокодирования исторических карт, пространственной привязки архивных материалов и согласования систем координат [4]. При этом, в обязательном порядке необходимо указывать источники и методы получения интегрируемых данных.

**Технологическая реализация.** Реализация геопространственной базы данных производится при помощи следующих решений:

1. СУБД с поддержкой пространственных данных.

PostgreSQL с расширением PostGIS для хранения и манипулирования пространственными объектами (Рис. 3)



**Рисунок 3.** Создание базы данных

**Figure 3:** Creating a database

## 2. ГИС-платформа:

QGIS для визуализации и анализа пространственных данных (Рис. 4). Также для углубленного пространственного анализа и моделирования может быть использована программа ArcGIS.



**Рисунок 4.** Визуализация данных в QGIS

**Figure 4.** Data visualization in QGIS

### 3. Веб-технологии:

GeoServer для публикации пространственных данных через стандартные веб-сервисы (WMS, WFS)

Leaflet и OpenLayers для создания веб-интерфейса с интерактивными картами

### 4. Инструменты 3D-моделирования:

Для создания более детальных моделей элементов парка используется программа Blender и 3Ds Max (Рис. 5). Также при наличии данных лазерного сканирования можно использовать Autodesk ReCap для их обработки, а при наличии данных фотограмметрии – Agisoft Metashape. Обработка данных в Autodesk ReCap и Agisoft Metashape необходима для создания точных 3D-моделей и цифровых двойников существующих объектов, включая конвертацию форматов, оптимизацию файлов, реконструкцию геометрических форм и привязку к реальным координатам. Agisoft Metashape дополнительно обеспечивает специализированную обработку фотограмметрических данных, что позволяет использовать результаты в проектировании, инвентаризации объектов, строительстве и управлении городской инфраструктурой.

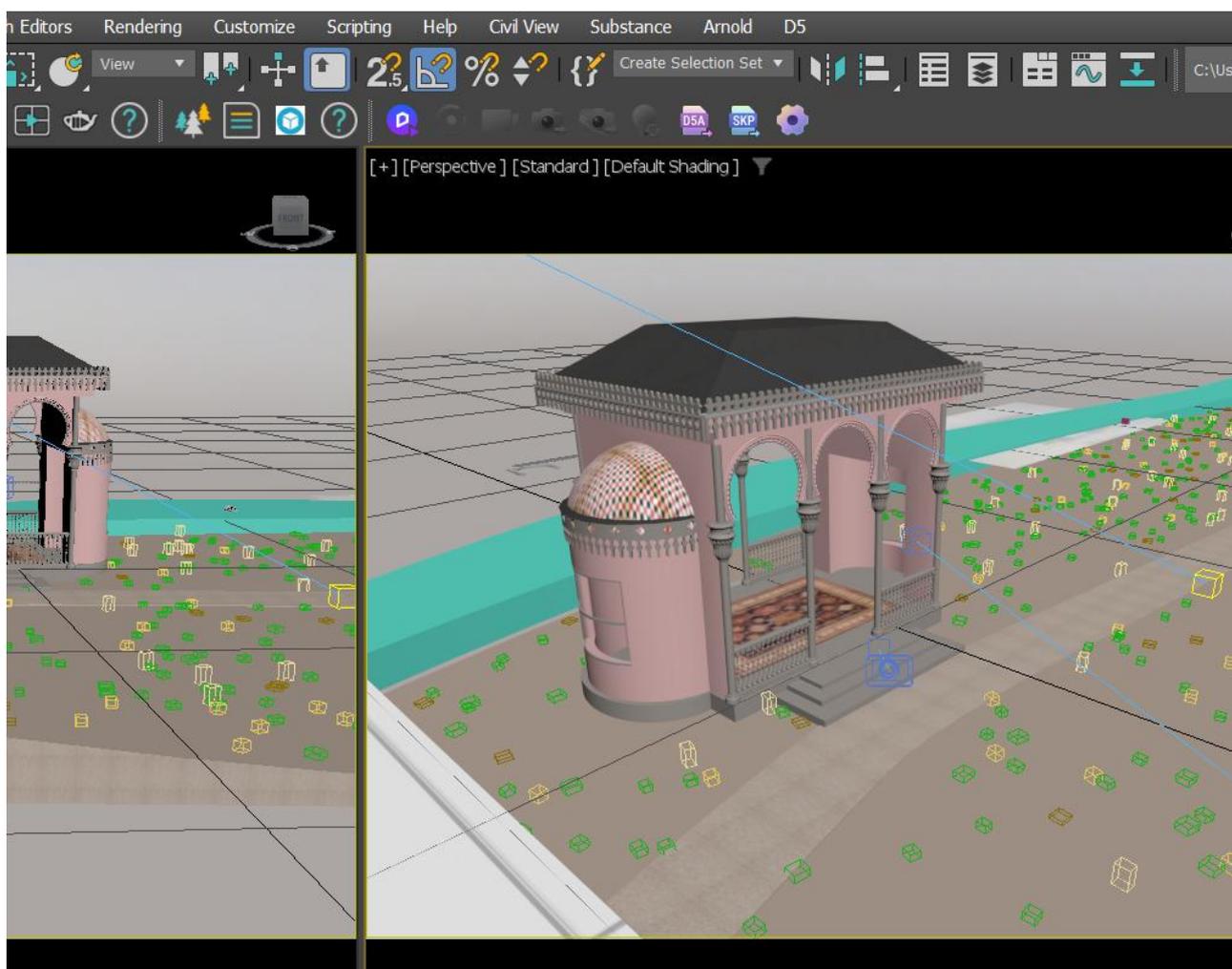


Рисунок 5. Создание 3D модели в программе 3Ds Max

Figure 5. Creating a 3D model in 3Ds Max program

Технологическая архитектура системы разрабатывается с учетом принципов интероперабельности, масштабируемости и соответствия международным стандартам (OGC, ISO) в области пространственных данных [5].

Интероперабельность необходима для эффективной работы систем управления пространственными данными и сервисами. При создании наборов данных из различных источников важно учитывать следующие аспекты [6].

- Использование общей системы координат
- Внедрение единого механизма идентификации пространственных объектов
- Сохранение логических и топологических связей между объектами
- Разработка открытой системы классификации атрибутов
- Учёт временных параметров данных
- Регулярное обновление информации

Способность системы масштабироваться играет ключевую роль в обеспечении удобного доступа к специализированным данным и приложениям. Это касается как сервисов OGC, так и стандартных веб-сервисов, которые должны оставаться легкодоступными при росте нагрузки [7].

Для полноценной работы геопортала и обеспечения качественного поиска и визуализации данных критически важно соблюдать международные стандарты, включая спецификации ISO и OGC [5].

**Заключение.** Разработанная методика создания геопространственной базы данных для объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры представляет собой комплексный подход к документированию и управлению этой специфической категорией культурного наследия. Интеграция пространственных и атрибутивных данных в единой системе позволяет преодолеть фрагментарность информации и обеспечить целостный взгляд на объекты ландшафтной архитектуры как сложные комплексы.

В настоящий момент методика находится в процессе апробации на примере западной части парка Екатеринбург. Созданная геопространственная база данных будет являться не только инструментом хранения информации, но и аналитической платформой, обеспечивающей поддержку принятия решений по сохранению, реставрации и использованию объектов культурного наследия. Применение современных геоинформационных технологий повышает эффективность управления объектами и способствует их интеграции в современную культурную и туристическую инфраструктуру.

Дальнейшие перспективы развития предложенной методологии связаны с внедрением технологий искусственного интеллекта для анализа данных, разработкой модулей прогнозирования изменений объектов, созданием общедоступного веб-сервиса для популяризации культурного наследия ландшафтной архитектуры и формирование интегрированной системы стратегического планирования, предназначенной для оптимизации процессов управления урбанистическими территориями и объектами городской инфраструктуры.

#### Список использованных источников

1. Конституция Российской Федерации: принята всенар. голосованием 12 дек. 1993 г. с изм., внесенными Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 1 июля 2020 г. № 1-ФКЗ. — Текст: электронный. — URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_37318/5d7f506c627c8086c221f3113d986ed7269bc14b/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/5d7f506c627c8086c221f3113d986ed7269bc14b/) (дата обращения: 01.04.2025).
2. Маевская, А. Н. Разработка интерактивных баз данных для систематизации геопространственной информации / А. Н. Маевская // Научные труды Брестского государственного университета им.

- А.С. Пушкина. – 2025. Текст: электронный. – URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/232511/1/185-186.pdf> (дата обращения: 27.03.2025).
3. Conceptual Database Design [Электронный ресурс] // Tutorialspoint. – URL: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.d43c4f3c-67eec39f-75a580c8-74722d776562/https/www.tutorialspoint.com/conceptual-database-design](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.d43c4f3c-67eec39f-75a580c8-74722d776562/https/www.tutorialspoint.com/conceptual-database-design) (дата обращения: 02.04.2025).
  4. Чибисов, М. Е. Создание исторической ГИС для изучения духовенства и приходов Алтайского (горного) округа в конце XVIII – начале XX вв. / М. Е. Чибисов, В. Н. Владимиров, Е. П. Крупочкин //— Текст : электронный. — URL: [https://case.asu.ru/files/form\\_312-26839.pdf](https://case.asu.ru/files/form_312-26839.pdf) (дата обращения: 01.04.2025).
  5. Инфраструктура пространственных данных. Создание и эксплуатация: дипломная работа / ФГБОУ ВПО “Кубанский государственный университет”, Кафедра геоинформатики. — Краснодар, 2013. — URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=784284> (дата обращения: 04.04.2025). — Текст : электронный.
  6. ГОСТ Р 58570-2019 Инфраструктура пространственных данных. Общие требования: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 октября 2019 г. № 929-ст : дата введения 2020-06-01. — URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726973.pdf> (дата обращения: 04.04.2025). — Текст : электронный.
  7. Динь Ле Дат. Разработка и реализация формальных онтологий пространственных данных и сервисов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук : 05.13.11 / Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. — Москва, 2008. — 196 с. Электронный ресурс. — URL: <https://cs.msu.ru/sites/cmc/files/theses/200803-dld.pdf> (дата обращения: 04.04.2025). — Текст : электронный.

### Reference

1. The Constitution of the Russian Federation: adopted by popular vote on December 12, 1993, as amended by Federal Constitutional Law No. 1-FKZ of July 1, 2020. — Electronic text. — URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_37318/5d7f506c627c8086c221f3113d986ed7269bc14b/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/5d7f506c627c8086c221f3113d986ed7269bc14b/) (accessed: 01.04.2025).
2. Maevskaya, A.N. Development of interactive databases for systematization of geospatial information / A.N. Maevskaya // Scientific Works of Pushkin Brest State University. — 2025. — Electronic text. — URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/232511/1/185-186.pdf> (accessed: 03.27.2025).
3. Conceptual Database Design [Electronic resource] // Tutorialspoint. — URL: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.d43c4f3c-67eec39f-75a580c8-74722d776562/https/www.tutorialspoint.com/conceptual-database-design](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.d43c4f3c-67eec39f-75a580c8-74722d776562/https/www.tutorialspoint.com/conceptual-database-design) (accessed: 04.02.2025).
4. Chibisov, M.E. Creating a historical GIS for studying the clergy and parishes of the Altai (mountain) district in the late XVIII — early XX centuries / M.E. Chibisov, V.N. Vladimirov, E.P. Krupochkin // Electronic text. — URL: [https://case.asu.ru/files/form\\_312-26839.pdf](https://case.asu.ru/files/form_312-26839.pdf) (accessed: 04.01.2025).
5. Spatial Data Infrastructure. Creation and Operation: Diploma thesis / Kuban State University, Department of Geoinformatics. — Krasnodar, 2013. — URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=784284> (accessed: 04.04.2025). — Electronic text.
6. GOST R 58570-2019 Spatial Data Infrastructure. General requirements: National Standard of the Russian Federation : official edition : approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated October 18, 2019, No. 929-st : date of introduction 2020-06-01. — URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726973.pdf> (accessed: 04.04.2025). — Electronic text.
7. Dinh Le Dat. Development and implementation of formal spatial data ontologies and services: Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences : 05.13.11 / Lomonosov Moscow State University. — Moscow, 2008. — 196 p. — Electronic text. — URL: <https://cs.msu.ru/sites/cmc/files/theses/200803-dld.pdf> (accessed: 04.04.2025).

the “garbage Everest” near Gatchina | Landfill | Sortirovochnaya. [Electronic resource]. URL: <https://rutube.ru/video/7984180765283dd5a5c77d9d7a21cd76/> (Date of address: 01.03.2025).

***CREATING A GEOSPATIAL DATABASE FOR  
CULTURAL HERITAGE SITES OF THE LANDSCAPE  
ARCHITECTURES***

**Kostereva A.A.**

Postgraduate student

Department of Information Systems and Technologies.

Saint-Petersburg State Forest technical University named after S. M. Kirov

Saint-Petersburg

E-mail: [kosterevanasta@gmail.com](mailto:kosterevanasta@gmail.com)

## РАЗДЕЛ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СТАТИСТИКА

УДК 004.9

### РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ: ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Витлев Кирилл Александрович**

магистр 1 курса ИЛиП

кафедра информационных систем и технологий СПб ГЛТУ имени С.М. Кирова

Санкт-Петербург

E-mail: [mr.vitlev@mail.ru](mailto:mr.vitlev@mail.ru)

**Челпанов Владислав Сергеевич**

магистр 1 курса ИЛиП

кафедра информационных систем и технологий СПб ГЛТУ имени С.М. Кирова

Санкт-Петербург

E-mail: [vlad899766@gmail.com](mailto:vlad899766@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье рассматривается процесс разработки специального интерактивного пользовательского интерфейса для разрабатываемой интеллектуальной геоинформационной системы (ГИС). Особое внимание уделено проектированию интерфейса с точки зрения удобства использования и производительности. Проведен анализ существующих решений, выявлены их преимущества и недостатки. Описаны технологии и инструменты, использованные при разработке. Представлены результаты проектирования и рассмотрены перспективы дальнейшего развития системы и возможные направления улучшений.

**Ключевые слова:** интерактивный пользовательский интерфейс, геоинформационная система, UX-дизайн, UI-дизайн, интеллектуальная система.

### **DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE USER INTERFACE FOR AN INTELLIGENT GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM: EXPERIENCE AND PROSPECTS**

**Annotation.** This article discusses the process of developing a special interactive user interface for an intelligent geographic information system (GIS) under development. Special attention is paid to interface design in terms of usability and performance. The analysis of existing solutions is carried out, their advantages and disadvantages are revealed. The technologies and tools used in the development are described. The design results are presented and the prospects for further development of the system and possible areas of improvement are considered.

**Keywords:** Interactive user interface, geographic information system (GIS), UX design, UI design, intelligent system.

**Введение.** Современные геоинформационные системы (ГИС) играют ключевую роль в обработке и анализе пространственных данных, предоставляя пользователям мощные инструменты для анализа и визуализации информации. Эти системы находят применение в различных отраслях — от градостроительства и экологии до сельского хозяйства и чрезвычайных ситуаций. Несмотря на широкий спектр возможностей существующих ГИС, одной из ключевых проблем качественного управления геопространственной информацией остается в сложности пользовательских интерфейсов

(UI), что ограничивает полноценное использование всех функций без предварительного и сложного процесса обучения.

Целью данной статьи является рассмотрение и анализ подходов к разработке интерактивного пользовательского интерфейса для интеллектуальной геоинформационной системы, который обеспечивает удобство работы и высокую эффективность. Удобный и интуитивно понятный интерфейс, снижающий порог вхождения и освоения функций системы для новых пользователей, способен значительно повысить производительность и сократить количество ошибок при работе с геопространственными данными.

Статья охватывает основные этапы разработки интерфейса для веб-приложения, начиная с анализа существующих решений и формулирования требований, до выбора технологий и инструментов. Основное внимание уделяется применению современных технологий, позволяющих создавать производительные и адаптивные интерфейсы для ГИС. Под адаптивными интерфейсами будем понимать свойство настройки параметров системы под различные аппаратные средства.

**Анализ существующих свойств интерфейса.** Современные геоинформационные системы (ГИС) активно применяются в различных отраслях, таких как экология, сельское хозяйство и государственное управление. Среди наиболее известных решений можно выделить QGIS, ArcGIS и Google Earth Pro, которые предлагают широкий набор инструментов для работы с пространственными данными, но также имеют ряд недостатков, связанных с удобством использования интерфейсов и требованиями к ресурсам. Современный интерфейс должен соответствовать нескольким критериям: интуитивность и удобность использования, возможность индивидуальной настройки программного интерфейса, логика размещения инструментов и доступ к функциям, а также высокая производительность. Обозначенные функции представляют собой некоторую степень интерактивности системы, которая выражается описанными критериями.

**QGIS** - это открытая система с широким функционалом, которая позволяет пользователям работать как с векторными, так и с растровыми данными. Она широко используется благодаря своей гибкости и поддержке множества форматов данных. Однако сложность интерфейса и большое количество настроек могут создать трудности для новых пользователей (Рисунок 1). Для полноценного использования системы требуется специальное обучение и понимание основ работы с ГИС, что ограничивает доступность системы для массового использования. QGIS предоставляет настраиваемый интерфейс, что предоставляет пользователям подстраивать его под себя, что делает программу очень гибкой. Тем не менее, из-за большого количества функций новичкам сложно ориентироваться в системе. При работе с большими объемами данных и сложными операциями система может испытывать задержки в работе. Одна из проблем при освоении QGIS - большое количество изменений в интерфейсе при выходе обновлений.

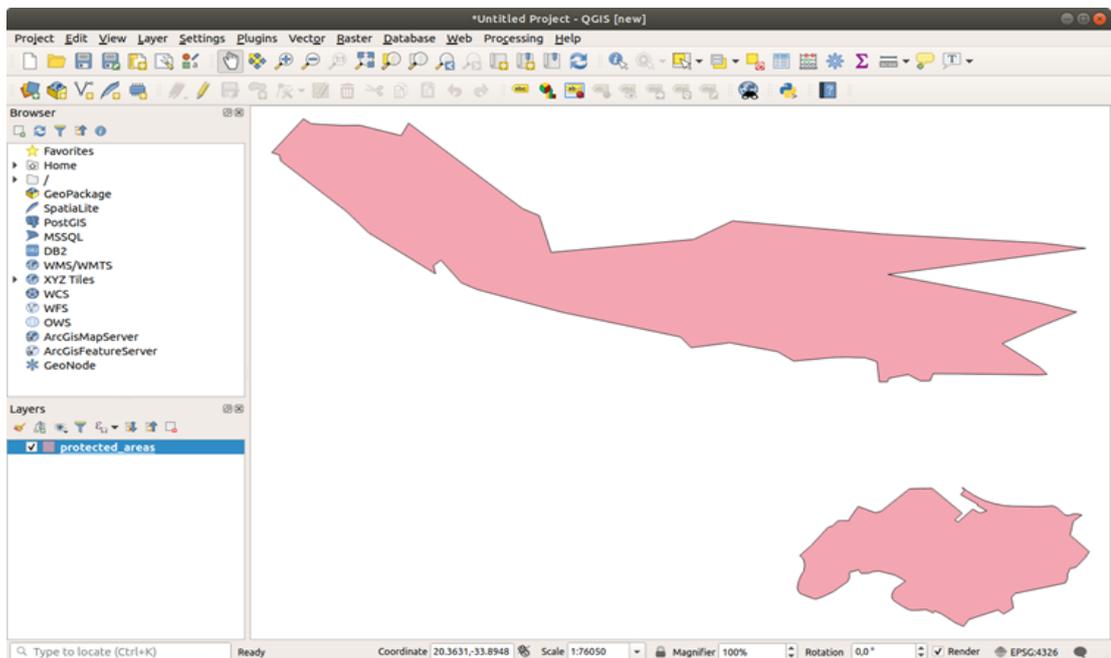


Рисунок 1 - Пользовательский интерфейс QGIS

Figure 1 - QGIS User Interface

**ArcGIS** - от компании *Esri* — коммерческий продукт, предлагающий расширенные возможности для создания сложных карт и анализа данных. Интерфейс *ArcGIS* более интуитивно понятен по сравнению с *QGIS* и предоставляет широкие возможности для настройки. Инструменты расположены удобно и логично, что помогает ориентироваться в программе (Рисунок 2). Тем не менее, даже с улучшенным интерфейсом, пользователи могут столкнуться с трудностями при работе с большими объемами данных. Кроме того, система требует значительных аппаратных ресурсов для стабильной работы. *ArcGIS* также имеет закрытую экосистему, что ограничивает возможности интеграции с внешними открытыми решениями.

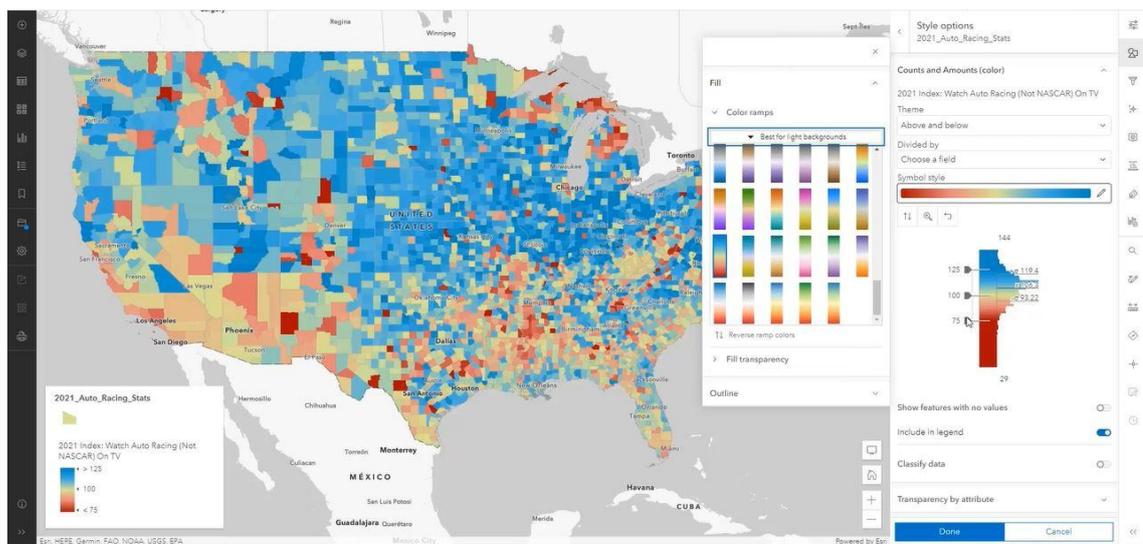


Рисунок 2 - интерфейс ArcGis

Figure 2 - ArcGIS interface

**Google Earth** — популярный виртуальный глобус для визуализации трехмерных моделей. Она известна своей простотой и интуитивностью, однако её функциональные возможности ограничены в сравнении с *QGIS* и *ArcGIS*. Несмотря на возможность работы с трёхмерными

моделями и спутниковыми снимками, Google Earth не предоставляет широких возможностей для обработки и анализа данных, что делает ее более ориентированной на образовательные и демонстрационные цели, а не на глубокий геопространственных данных. Интерфейс системы предельно прост, что делает её удобной для пользователей, не имеющих специализированных знаний, однако отсутствуют возможности для настройки (Рисунок 3). Все функции органичны и легко доступны, что обусловлено узкой направленностью системы. Система оптимизирована для просмотра и быстрой загрузки 3D-изображений, что обеспечивает плавный интерфейс и быстрый отклик на действия пользователя.

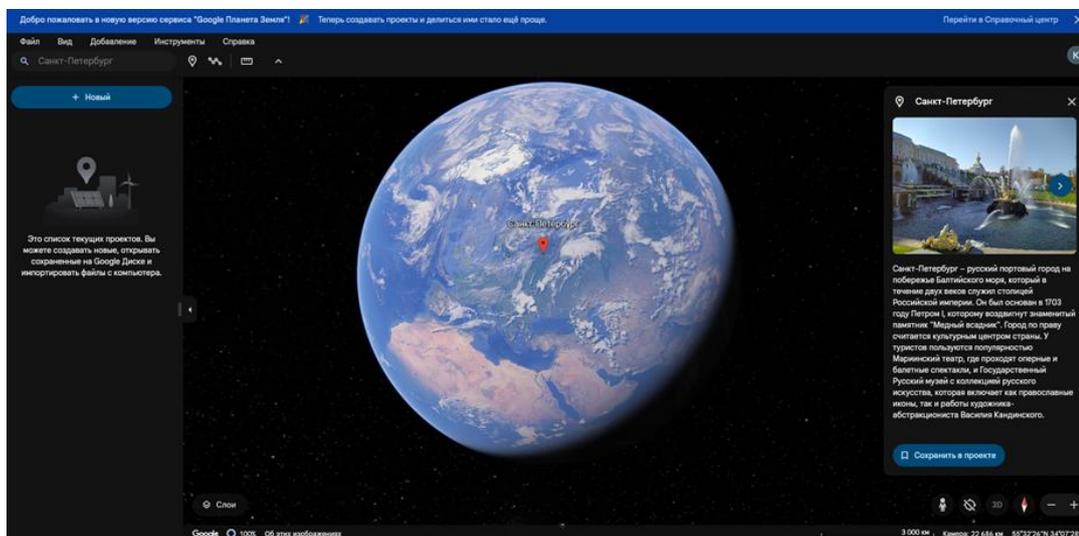


Рисунок 3- веб-интерфейс Google Earth

Figure 3- Google Earth web interface

Таким образом, существующие системы обладают значительными преимуществами в области функциональности, однако недостатки, связанные с удобством интерфейса и производительностью, создают необходимость разработки новых решений, способных эффективно работать с большими объемами данных и быть интуитивно понятными для пользователей с различным уровнем подготовки. Результаты сравнения систем QGIS, ArcGIS и Google Earth представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение интерфейсов ГИС

Table 1 - Comparison of GIS interfaces

Критерий	QGIS	ArcGIS	Google Earth
Интуитивность интерфейса	Сложный, требуется обучения	Интуитивно понятный, но требует опыта работы с ГИС	Очень простой для работы, ориентирован на широкую аудиторию
Гибкость интерфейса	Гибкая настройка интерфейса	Гибкая настройка интерфейса	Отсутствует возможность настройки интерфейса

<b>Логика размещения инструментов</b>	Подходит для опытных пользователей, но сложен в освоении	Удобное размещение инструментов	Все функции доступны и легко понятны
<b>Производительность</b>	Задержки при работе с большими данными	Требует мощных аппаратных ресурсов	Оптимизирован для быстрого отображения 3D-изображений
<b>Настройка интерфейса</b>	Доступна настройка, но сложна для новых пользователей	Доступна настройка интерфейса	Отсутствует возможность настройки интерфейса

**Проектирование интерактивного интерфейса геоинформационной системы.** На основе проведенного анализа были выявлены основные требования к интерактивному пользовательскому интерфейсу, а также ранее спроектирован прототип интеллектуальной геоинформационной системы [9, 10]. Разработка интерактивного интерфейса для ГИС включает в себя учет как функциональных, так и нефункциональных требований. Эти требования должны быть тщательно сформулированы для обеспечения эффективной работы с системой различных категорий пользователей, включая как специалистов, так и обычных пользователей.

**Функциональные требования.** В рамках этапа сбора требований были сформированы следующие функциональные требования к системе:

- взаимодействие с окном «Аналитика»;
- работа с табличным типом данных разных форматов. *xsl/s*, *.csv*;
- возможность загрузить данный файл в систему для последующей обработки;
- система должна формировать диаграммы и графики на основе полученных данных.

Должна быть реализована интеграция с алгоритмом, позволяющим на основе полученных данных из базы данных, визуализировать точки на карте, для дальнейшего взаимодействия с ними а также:

- интеграция с публичными картографическими *API* для создания базовой карты;
- возможность интерактивного взаимодействия с точками, позволяющее оперативно менять статус активности объекта на карте;
- при нажатии на точку на карте, возможность вывода диалогового окна;
- при изменении информации в базе данных, также должно меняться значение информации связанного столбца на карте, который выбрал пользователь.
- формирование столбчатой диаграммы рядом с окном карты на основе выбранных данных.

Для удобства восприятия, функциональные требования также были сформированы в виде *UML*-диаграммы прецедентов (Рисунок 4), которая описывает, какой функционал разрабатываемой программной системы доступен группе пользователей. На диаграммах *UML* для связи элементов (кейсов) используются различные соединительные линии, которые называются отношениями. В данной диаграмме будут использованы следующие виды отношений: ассоциации, включения и расширения. Отношения ассоциации предназначены только для соединения актёров (пользователей, систем, баз данных) и вариантов использования(кейсов). Отношение включения используется, чтобы показать, что некоторый вариант использования включает в себя другой вариант использования в качестве составной части, подразумевается, что составные варианты обязательно входят в состав

общего варианта использования. Отношение расширения – выборочное отношение включения. То есть если отношения включения подразумевают обязательное включение в состав другого элемента, то для отношения расширения это включение не обязательно.

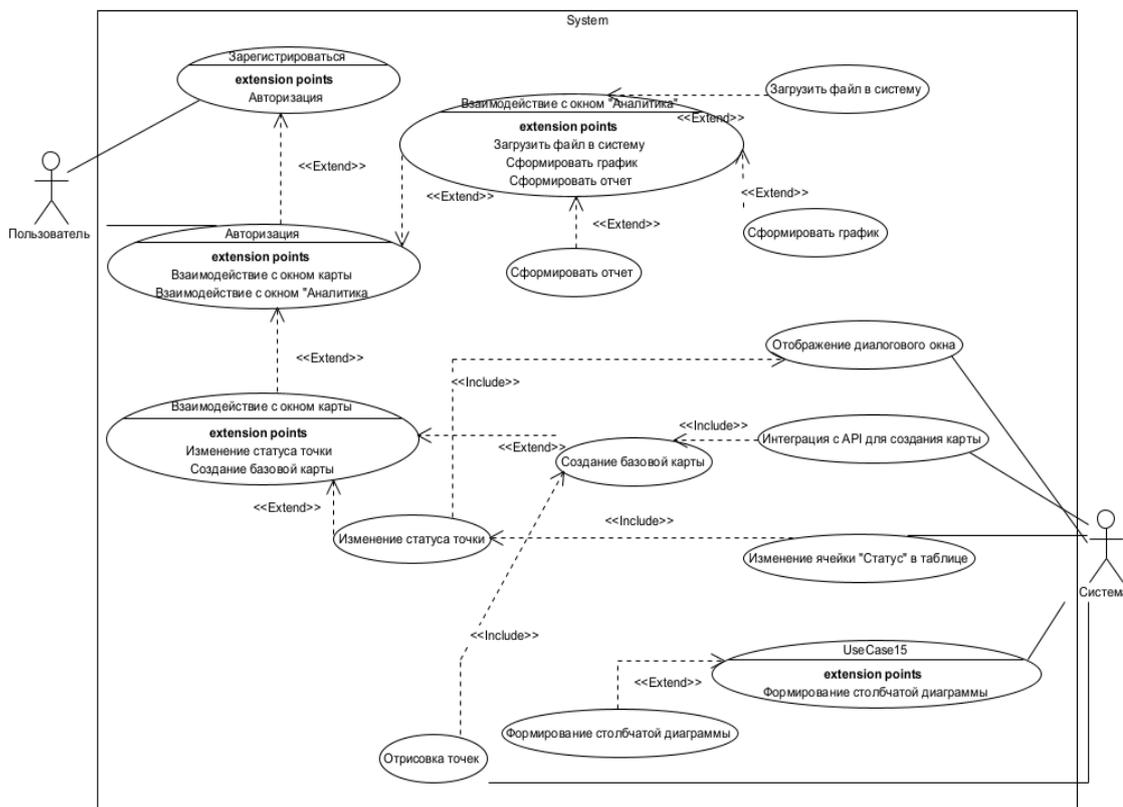


Рисунок 4 – Диаграмма прецедентов для прототипа геоинформационной системы

Figure 4 - Precedent diagram for the prototype geographic information system

**Разработка нефункциональных требований.** К нефункциональным требованиям предлагаемого программного обеспечения относятся:

1. Интуитивно понятный интерфейс и удобный дизайн, которые помогают минимизировать когнитивную нагрузку на пользователя и сокращают время на выполнение задач.
2. Быстрая загрузка данных и минимизация задержек при работе с картами, что обеспечит комфортную работу с системой.
3. Поддержка современных методов аутентификации и шифрования данных, что важно для защиты информации пользователя и системы в целом.
4. Возможность работы с большими объемами данных и поддержка многопользовательского режима.

Рассмотренные нефункциональные требования могут быть оценены в ходе программного тестирования системы, после реализации основных функций интеллектуальной геоинформационной системы.

**Технологии для разработки прототипа интерфейса.** Геоинформационная система разрабатывается как веб-приложение, что обеспечит гибкость и кроссплатформенность. Пользователь сможет работать с системой через браузер без необходимости устанавливать дополнительные программы.

Для реализации интерактивного пользовательского интерфейса веб-приложения были выбраны современные инструменты, которые обеспечат высокую производительность, гибкость и простоту разработки. Более подробное описание используемых технологий приведено в таблице 2.

**Таблица 2** - Описание технологий для разработки  
**Table 2** - Description of technologies for development

Технология	Описание	Основные преимущества
<i>Vue.js</i>	Прогрессивный <i>JavaScript</i> -фреймворк для создания пользовательских интерфейсов.	Легок в освоении, компонентный подход, высокая гибкость, возможность многократного использования модулей.
<b>SCSS</b>	Препроцессор для <i>CSS</i> , упрощающий написание и структуру кода стилей.	Поддержка переменных, вложенных правил, миксинов; облегчение создания и поддержки адаптивного интерфейса.
<b>Leaflet.js</b>	Библиотека для работы с интерактивными картами, интегрируемая с <i>Vue.js</i> .	Высокая производительность, поддержка различных типов данных, динамическое обновление карт.
<b>Flask</b>	Легковесный серверный фреймворк для <i>Python</i> .	Простая настройка, быстрая обработка запросов, интеграция с базами данных, подходит для небольших веб-приложений.

**Заключение.** Разработка интерактивного пользовательского интерфейса для интеллектуальной геоинформационной системы (ИГИС) является важной задачей, направленной на повышение доступности и эффективности работы с геопространственными данными. В ходе исследования в первой части статьи были проанализированы существующие решения в области ГИС, такие как QGIS, ArcGIS и Google Earth, выявлены их сильные и слабые стороны, что позволило сформулировать основные требования к разрабатываемому интерфейсу новой версии прототипа (ИГИС).

Предложенный подход к проектированию интерфейса ориентирован на удобство использования и высокую производительность, с учетом функциональных и нефункциональных требований. Интуитивно понятный интерфейс и возможность работы с большими объемами данных, интеграция с современными картографическими API и поддержка многопользовательского режима создадут условия для эффективной работы пользователей с системой.

Использование современных технологий в разработке веб-приложения, а также четко сформулированные требования, обеспечат гибкость и кроссплатформенность системы. В будущем, предлагаемые решения позволят значительно улучшить качество взаимодействия с геоинформационными системами, сделав их более доступными для широкого круга пользователей, включая специалистов и обычных пользователей, что будет рассмотрено в следующей части публикации авторов.

#### Список использованных источников

1. Сеитов Б.А., Пискорская С.Ю. К вопросу о геопространственной информации// Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. №14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-geoprostranstvennoy-informatsii> (дата обращения: 20.04.2024)
2. Дорогина, А. С. Front-end разработка / А. С. Дорогина, О. Н. Сафонова, Н. В. Тутова // Телекоммуникации и информационные технологии. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 69-72. – EDN WGBZIR.

3. Джон Дакетт HTML и CSS. Разработка и дизайн веб -сайтов.
4. W3schools html [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://www.w3schools.com/html/>
5. W3schools css [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://www.w3schools.com/css/default.asp>
6. QGIS [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://www.qgis.org/ru/site/about/>
7. ArcGIS [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://resources.arcgis.com/ru/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
8. Google Earth [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://earth.google.com/web/@59.97167589,30.31588281,-8.13547617a,3036.08232038d,89.95656046y,-149.77683228h,89.07541567t,0r/data=OgMKATA>
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023665369 Российская Федерация. Интеллектуальная геоинформационная система (IGIS): № 2023664113: заявл. 03.07.2023: опубл. 14.07.2023 / М. Р. Вагизов, К. А. Витлев, В. С. Челпанов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова».

#### Reference

1. Seitov B.A., Piskorskaya S.Y. On the issue of geospatial information// Actual problems of aviation and cosmonautics. 2018. No. 14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-geoprostranstvennoy-informatsii> (date of request: 04/20/2024)
2. Dorogina, A. S. Front-end development / A. S. Dorogina, O. N. Safonova, N. V. Tutova // Telecommunications and information technology. – 2015. – Vol. 2, No. 2. – pp. 69-72. – EDN WGBZIR.
3. John Duckett HTML and CSS. Website development and design.
4. W3schools html [Electronic resource]. Access mode - <https://www.w3schools.com/html/>
5. W3schools css [Electronic resource]. Access mode - <https://www.w3schools.com/css/default.asp>
6. QGIS [Electronic resource]. Access mode - <https://www.qgis.org/ru/site/about/>
7. ArcGIS [Electronic resource]. Access mode - <https://resources.arcgis.com/ru/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
8. Google Earth [Electronic resource]. Access mode - <https://earth.google.com/web/@59.97167589,30.31588281,-8.13547617a,3036.08232038d,89.95656046y,-149.77683228h,89.07541567t,0r/data=OgMKATA>
9. Certificate of State registration of a computer program No. 2023665369 Russian Federation. Intellectual Geoinformation System (IGIS): No. 2023664113: application 07/03/2023: published 07/14/2023 / M. R. Vagizov, K. A. Vitlev, V. S. Chelpanov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov".

#### **Vitlev Kirill A.,**

1st year Master degree at ILiP  
 Department of Information Systems and Technologies,  
 St. Petersburg State Technical University named after S.M. Kirov  
 Saint-Petersburg  
 E-mail: [mr.vitlev@mail.ru](mailto:mr.vitlev@mail.ru)

#### **Chelpanov Vladislav S.,**

1st year Master degree at ILiP  
 Department of Information Systems and Technologies,  
 St. Petersburg State Technical University named after S.M. Kirov  
 Saint-Petersburg  
 E-mail: [vlad899766@gmail.com](mailto:vlad899766@gmail.com)

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МАРШРУТИЗАЦИИ БВС ПРИ МОНИТОРИНГЕ НЕБОЛЬШИХ УЧАСТКОВ ЛЕСНОГО ФОНДА

**Хабаров Сергей Петрович**

кандидат технических наук, доцент

кафедры информационных систем и технологий

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова

г. Санкт-Петербург

E-mail: [serg.habarov@mail.ru](mailto:serg.habarov@mail.ru)

**Вагизов Марсель Равильевич**<sup>1,2</sup>

доктор технических наук, доцент

заведующий кафедрой информационных систем и технологий, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский

государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова,<sup>2</sup> профессор кафедры

информационных технологий и систем безопасности, ФГБОУ ВО Российский государственный

гидрометеорологический университет

Санкт-Петербург

E-mail: [bars-tatarin@yandex.ru](mailto:bars-tatarin@yandex.ru)

**Аннотация.** В работе представлена методика маршрутизации беспилотных летательных аппаратов (БАС) для мониторинга лесных участков, основанная на использовании шестиугольной решетки. Предложенный подход обеспечивает полное покрытие исследуемой территории без зазоров и минимизирует суммарную длину маршрутов при соблюдении ограничений на запас хода БАС. Разработанный алгоритм учитывает ключевые параметры задачи, такие как радиус захвата камеры и максимальная дальность полета, что позволяет адаптировать методику для различных условий мониторинга. Показано, что увеличение радиуса захвата камеры и запаса хода снижает количество задействованных аппаратов и оптимизирует маршруты. Методика обладает широким спектром применения, включая сельское хозяйство, инфраструктурный мониторинг и автономное судовождение, что делает её актуальной для решения практических задач в различных областях.

**Ключевые слова:** мониторинг лесных территорий, оптимизация покрытия, планирование маршрутов БАС генерация регулярных сеток, аэрофотосъемка, сенсорные сети, **OR-Tools**.

## DEVELOPMENT OF A UAV ROUTING METHODOLOGY FOR MONITORING SMALL FOREST PLOTS

**Abstract.** The paper presents a methodology for routing unmanned aerial vehicles (UAVs) for monitoring forest plots, based on the use of a hexagonal grid. The proposed approach ensures complete coverage of the study area without gaps and minimizes the total route length while adhering to UAV flight range constraints. The developed algorithm takes into account key task parameters, such as camera capture radius and maximum flight distance, allowing the methodology to be adapted to various monitoring conditions. It is shown that increasing the camera capture radius and flight range reduces the number of UAVs required and optimizes routes. The methodology has a wide range of applications, including agriculture, infrastructure monitoring, and autonomous navigation, making it relevant for solving practical problems in various fields.

**Keywords:** forest area monitoring, coverage optimization, regular grid generation, aerial photography, UAV route planning, sensor networks, OR-Tools.

**Введение.** Современные технологии дистанционного зондирования Земли с использованием беспилотных летательных аппаратов (БАС) активно применяются для мониторинга лесных участков. Это обусловлено их высокой мобильностью, относительно низкой стоимостью эксплуатации и возможностью получения данных с высоким разрешением. Однако успешное выполнение задач мониторинга требует не только качественного оборудования, но и эффективной методики планирования полетов, которая учитывает особенности исследуемой территории, технические ограничения БАС и требования к точности получаемых данных [1].

Одним из ключевых аспектов при планировании миссии является построение маршрутов полета БАС, обеспечивающих полное покрытие заданной территории. Традиционные подходы, основанные на прямоугольных или произвольных сетках, часто приводят к нерациональному использованию ресурсов: возникают "слепые зоны" или избыточные перекрытия между соседними снимками, что снижает качество данных и увеличивает время выполнения миссии. Кроме того, важным фактором является запас хода БАС, который ограничивает максимальную длину маршрута. Использование нескольких БАС для совместного обследования одной территории в ряде случаев может быть экономически выгоднее, чем применение одного аппарата с большим запасом хода.

Выбор высоты полета и типа камеры также оказывает значительное влияние на процесс мониторинга. Например, полеты на меньшей высоте позволяют получить снимки с более высоким разрешением, но требуют большего количества точек съемки и, соответственно, увеличивают общую длину маршрута. Наоборот, полеты на больших высотах уменьшают количество точек съемки, но могут привести к снижению точности данных. Таким образом, оптимальная высота полета зависит от конкретных задач мониторинга и характеристик используемого оборудования.

В данном исследовании мы сосредоточимся на самом доступном и распространенном классе БАС - компактных квадрокоптеров. В отличие от крылатых БАС, типа Геоскан 401, которые предназначены для обследования больших территорий и требуют свободного пространства для взлета и посадки. Квадрокоптеры лучше подходят для работы в условиях ограниченного пространства, например, на небольших лесных участках.

Квадрокоптеры обеспечивают высокую маневренность и возможность вертикального взлета и посадки. Это особенно важно в густых лесах или на пересеченной местности. Среди популярных моделей можно выделить DJI Phantom 4 RTK с запасом хода до 7–10 км и DJI Matrice 300 RTK с запасом хода до 15–20 км. Эти аппараты позволяют работать на высотах до 120 метров и обеспечивают ширину захвата камеры порядка 80–150 метров, что делает их подходящими для мониторинга лесных участков средних размеров. Основные проблемы, которые возникают при использовании таких БАС, включают:

- Необходимость полного покрытия территории: Простые схемы движения (например, "зигзаг") часто оставляют "пробелы" между снимками, что снижает качество данных.
- Ограничение запаса хода: Максимальная длина маршрута ограничена емкостью батареи, что требует либо использования нескольких аппаратов, либо организации промежуточных точек зарядки.
- Зависимость от высоты полета: Выбор высоты напрямую влияет на плотность точек съемки и, следовательно, на общую длину маршрута.

Для решения этих проблем предлагается подход, основанный на использовании шестиугольной решетки для планирования маршрута. У неё ряд преимуществ перед традиционными прямоугольными сетками: она обеспечивает равномерное покрытие территории без зазоров, минимизирует количество точек съемки, необходимых для полного покрытия, и упрощает процесс маршрутизации за счет регулярной структуры.

Целью данной работы является разработка методики, включающей в себя методы построения шестиугольной решетки, расчета маршрутов БАС и оптимизации траектории их движения. Данная методика позволит обеспечить полное покрытие лесных участков при минимальных затратах времени и ресурсов, а также адаптироваться к различным условиям мониторинга.

**Математическая постановка задачи.** Небольшой участок лесного фонда, исследуемый с помощью недорогих квадрокоптеров, представляет собой прямоугольную область размером  $W \times H$ . Каждый квадрокоптер оснащен камерой с шириной захвата  $R$ , определяемой высотой полета и углом обзора. Запас хода каждого дрона ограничен значением  $L_{\max}$ , что задает максимальную длину маршрута за один вылет.

Требуется обеспечить полное покрытие территории без зазоров. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- Построение шестиугольной решетки точек съемки, обеспечивающей полное покрытие лесного участка.
- Разбиение множества точек съемки на подмножества, каждое из которых может быть обслужено одним БАС.
- Минимизация суммарной длины всех маршрутов при соблюдении ограничений на запас хода каждого БАС.

Предлагаемая к реализации методика включает три основных метода: построения шестиугольной решетки, расчета маршрутов БАС и оптимизации траекторий их движения

### 1. Построение шестиугольной решетки

Задаются горизонтальный и вертикальный шаги решетки:

$$dx = R \cdot \sqrt{3}, \quad dy = 1.5 \cdot R$$

Вычисляется вертикальный сдвиг  $y_s$  для центрирования решетки внутри исследуемой области

$$y_s = \begin{cases} \frac{H \bmod dy}{2}, & \text{если } H \bmod dy > 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Это позволяет минимизировать зазоры в верхней части области. Количество полных столбцов решетки, которые помещаются в ширину участка:

$$col = \left\lfloor \frac{W}{dx} \right\rfloor$$

Если последний столбец не помещается полностью, то решетка смещается вправо на половину шага:

$$a = \begin{cases} 0, & \text{если } c \cdot dx + dx/2 > W, \\ dx/2, & \text{иначе} \end{cases}$$

Для каждой строки  $r$  (нумерация с 0) и каждого столбца  $c$  (нумерация с 0) вычисляются координаты точек. Координата  $y$  будет:

$$y = r \cdot dy + y_s.$$

Координата  $x$  для четных строк:

$$x = a$$

Координата  $x$  для нечетных строк:

$$x = \begin{cases} \frac{dx}{2}, & \text{если } a = 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Для фиксированной строки  $r$  точки добавляются с шагом  $dx$  до тех пор, пока  $x \leq W + dx/2$ :

$$P = \{(x, y) \mid x = x_0 + k \cdot dx, k \in Z, x \leq W + dx/2\},$$

где  $x_0$  - начальное значение  $x$  для данной строки

Получается массив точек  $P$ , представляющий шестиугольную решетку, обеспечивающую полное покрытие исследуемой области с минимальным количеством точек вне диапазона.

### 2. Разбиение точек на группы

Каждая группа точек  $Gk$  должна удовлетворять ограничению на запас хода БАС:

$$L(Gk) \leq L_{\max},$$

где  $L(Gk)$  - длина маршрута для группы  $Gk$ , вычисляемая как сумма расстояний между последовательно посещаемыми точками.

Целевая функция для разбиения:

$$\min \sum_{k=1}^K L(Gk),$$

где  $K$  — количество групп (БАС).

### 3. Оптимизация маршрутов

Для каждой группы  $Gk$  требуется найти оптимальный маршрут  $Rk$ , который минимизирует длину пути при условии посещения всех точек группы. Формально это задача коммивояжера (TSP):

$$\min \sum_{i=1}^{n_k-1} \|P_{q_i} - P_{q_{i+1}}\| + \|P_{q_{n_k}} - P_{q_1}\|$$

где:  $n_k = |Gk|$  - количество точек в группе,

$q_1, q_2, \dots, q_{n_k}$  - порядок посещения точек,

$\|P_{q_i} - P_{q_{i+1}}\|$  - евклидово расстояние между точками  $P_{q_i}$  и  $P_{q_{i+1}}$ .

### 4. Общая целевая функция

Общая задача формулируется как минимизация суммарной длины всех маршрутов:

$$\min \sum_{k=1}^K \left( \min \sum_{i=1}^{n_k-1} \|P_{q_i} - P_{q_{i+1}}\| + \|P_{q_{n_k}} - P_{q_1}\| \right)$$

при следующих ограничениях:

- Каждая точка  $s \in S$  должна быть посещена ровно одним БАС

$$\bigcup_{k=1}^K Gk = P, G_i \cap G_j = 0 \quad \forall i \neq j$$

- Длина маршрута каждого БАС не должна превышать его запас хода

$$L(Gk) \leq Lmax. \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Задача разбиения точек на группы  $Gk$  является NP-трудной, так как требует учета ограничений на запас хода и минимизации суммарной длины маршрутов.

**Алгоритмическая поддержка методики.** Традиционные методы генерации решетки, включая метод "грубой силы", обладают существенным недостатком: они не гарантируют полного покрытия участка, особенно в случаях, когда его размеры не кратны шагам решетки. Это приводит к образованию зазоров на границах, что может существенно исказить результаты анализа и снизить достоверность данных (рис. 1, слева).

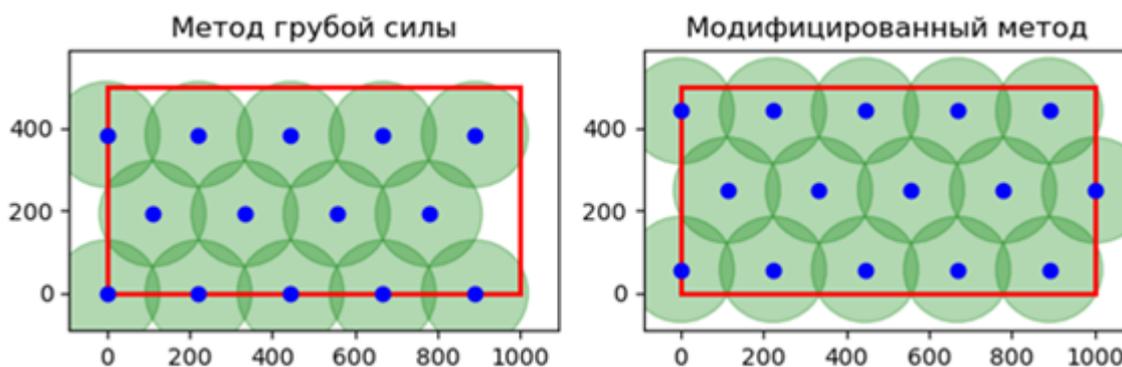


Рисунок 1 Шестиугольная решетка на плоскости 1000×500 при R=130.

Figure 1 Hexagonal lattice on a plane 1000x500 at R=130.

В условиях, когда требуется 100% обследование лесного участка, такие ограничения становятся критичными. Для их устранения был разработан модифицированный алгоритм генерации шестиугольной решетки, который адаптируется к особенностям размеров исследуемой территории. Его целью является обеспечение полного покрытия лесного участка без зазоров, что позволяет повысить точность данных, получаемых в процессе мониторинга.

В основе предлагаемого алгоритма лежит допущение о возможности выхода части точек решетки за границы исследуемой области. При этом их количество должно быть минимальным, что обеспечивается за счет оптимизации распределения строк, при котором распределение полных и неполных строк должно быть максимально равномерным (рис. 1, справа). Одна из возможных реализаций этого алгоритма на Python может иметь вид:

```
def generate_hexagonal_grid(W, H, R):
    dx = R * np.sqrt(3)
    dy = 1.5 * R
    rows = int(H // dy)
    remaining_H = H % dy
    y_offset = remaining_H / 2 if remaining_H > 0 else 0
    columns = int(W // dx)
    a = 0 if (columns * dx + dx/2) > W else dx/2
    points = []
    for row in range(rows + 1):
        y = row * dy + y_offset
        if row % 2 == 0:
            x = a
        else:
            x = dx/2 if a==0 else 0
        while x <= W + dx/2:
            points.append((x, y))
            x += dx
    return np.array(points)
```

Полученный набор данных позволяет сформировать матрицу расстояний между точками шестиугольной решетки и свести исходную задачу построения маршрутов БАС к типовой задаче оптимизации маршрутов транспортных средств (Vehicle Routing Problem, VRP) [2]. Один из возможных подходов к решению этой задачи, использующий алгоритм муравьиной колонии, был реализован в среде Octave и описан в [3]. В данной методике, ориентированной на среду Python, используется подход, при котором ядро программного кода использует обращение к библиотеке OR-Tools (Optimization Research Tools). Это мощный инструмент от Google, предназначенный для решения задач комбинаторной оптимизации. Она предоставляет готовые алгоритмы для работы с задачами маршрутизации, включая задачу коммивояжера, задачу транспортной логистики и другие.

С ее использованием в проектируемый программный код для модуля оптимизации маршрутов полета БАС был разработан и интегрирован фрагмент кода, близкий по своей форме и стилистике к коду, описанному на сайте Google OR-Tools [4]:

```
. . .
distance_matrix = calc_distance_matrix(Points)
# Создаём модель маршрутизации
manager = pywrapcp.RoutingIndexManager(len(Points), num_drones, 0)
routing = pywrapcp.RoutingModel(manager)

# Функция затрат (длина пути)
def distance_callback(from_index, to_index):
    from_node = manager.IndexToNode(from_index)
    to_node = manager.IndexToNode(to_index)
    return int(distance_matrix[from_node][to_node])
transit_callback_index = routing.RegisterTransitCallback(distance_callback)
routing.SetArcCostEvaluatorOfAllVehicles(transit_callback_index)
```

```

# Ограничение по дальности полёта для каждого дрона
routing.AddDimensionWithVehicleCapacity(
    transit_callback_index, 0, L_max, True, "Distance"
)

# Оптимизация
search_parameters = pywrapcp.DefaultRoutingSearchParameters()
search_parameters.first_solution_strategy =
routing_enums_pb2.FirstSolutionStrategy.PATH_CHEAPEST_ARC
solution = routing.SolveWithParameters(search_parameters)

```

Таким образом, алгоритмическая поддержка предлагаемой методики позволяет построить маршруты для всех БАС, минимизируя суммарную длину всех путей, учесть ограничения на дальность полета каждого аппарата, а также обеспечить полное покрытие исследуемой территории.

**Верификация работы методики.** Верификация работы включает проверку того, насколько эффективно и точно разработанный алгоритм решает задачу маршрутизации БАС для мониторинга лесных участков. Тестирование выполнялось на примере области размером  $W=H=1000$ м, близкой по площади к принятым в России размерам лесных кварталов. Рассматривались различные радиусы захвата (R) и запасы хода каждым из БАС. Основные результаты приведены в табл. 1.

**Таблица 1** Результаты оптимизации маршрутов БАС  
**Table 1** Results of ABC route optimization

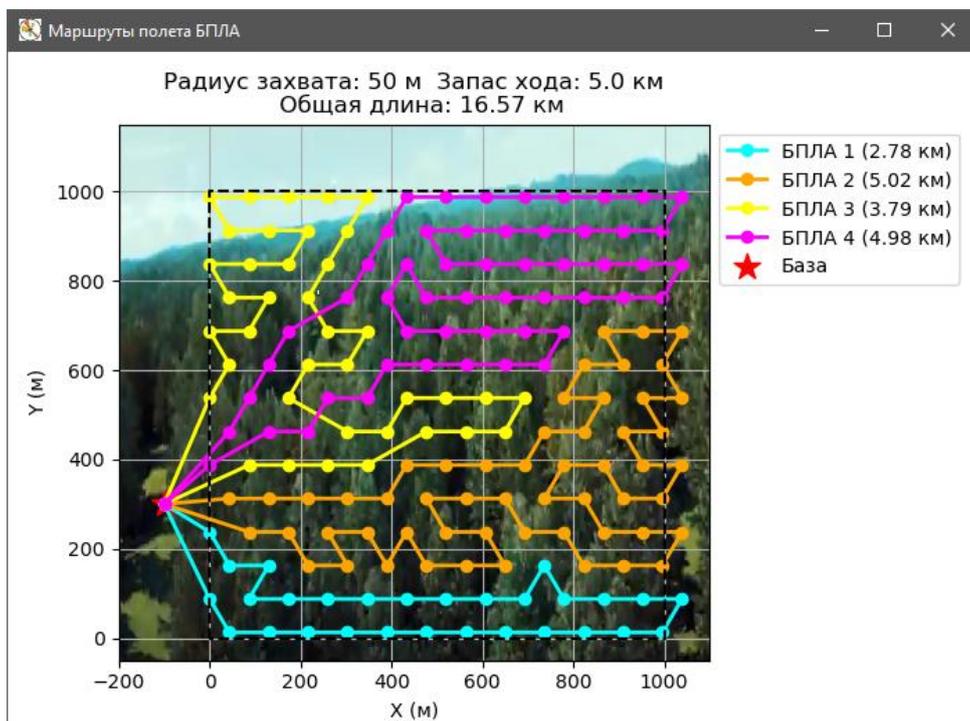
R захвата, м	50			100			150		
Точек в сетке	175			45			22		
Запас хода, км	5	7	10	5	7	10	5	7	10
Длина маршрута БАС, км									
БАС 1	2.78	6.92	9.65	3.58	6.25	7.96	3.89	5.86	5.86
БАС 2	5.02	5.63	6.14	4.84	2.04	-	2.49	-	-
БАС 3	3.79	3.56	-	-	-	-	-	-	-
БАС 4	4.98	-	-	-	-	-	-	-	-
	16.57	16.11	15.79	8.42	8.30	7.96	6.38	5.86	5.86

Анализ представленных в табл. 1 данных показывает, что при увеличении радиуса захвата (R) количество точек в сетке уменьшается. Объясняется это тем, что большая ширина захвата позволяет покрыть ту же площадь меньшим количеством снимков. Чем больше запас хода БАС, тем меньше требуется аппаратов для выполнения задачи. Увеличение запаса хода позволяет уменьшить суммарную длину маршрутов.

Разработанный алгоритм успешно решает задачу маршрутизации БАС для мониторинга лесных участков. Он обеспечивает полное покрытие территории и минимизирует суммарную длину маршрутов при соблюдении ограничений на запас хода.

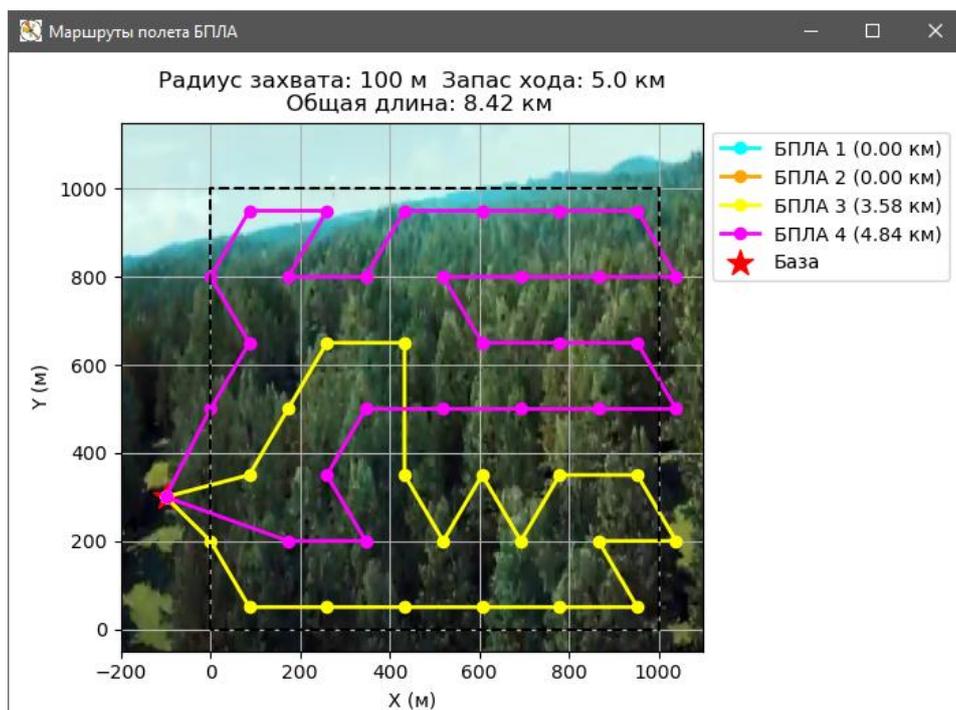
Для наглядного подтверждения представленных результатов и более глубокого анализа работы алгоритма были построены графики маршрутов полета БАС для различных значений радиуса захвата и запаса хода. Эти графики позволяют визуально оценить эффективность методики, продемонстрировать влияние ключевых параметров на форму и протяженность маршрутов, а также убедиться в полном покрытии исследуемой территории.

В качестве примера на рис. 2, 3 и 4 приведены оптимальные маршруты движения квадрокоптера с запасом хода на 5 км при разных радиусах захвата, что может возникать либо при изменении высоты полета, либо требований к точности разрешения снимков. Графики наглядно демонстрируют, как увеличение  $R$  упрощает маршруты и снижает количество необходимых аппаратов, а также подтверждают корректность работы алгоритма.



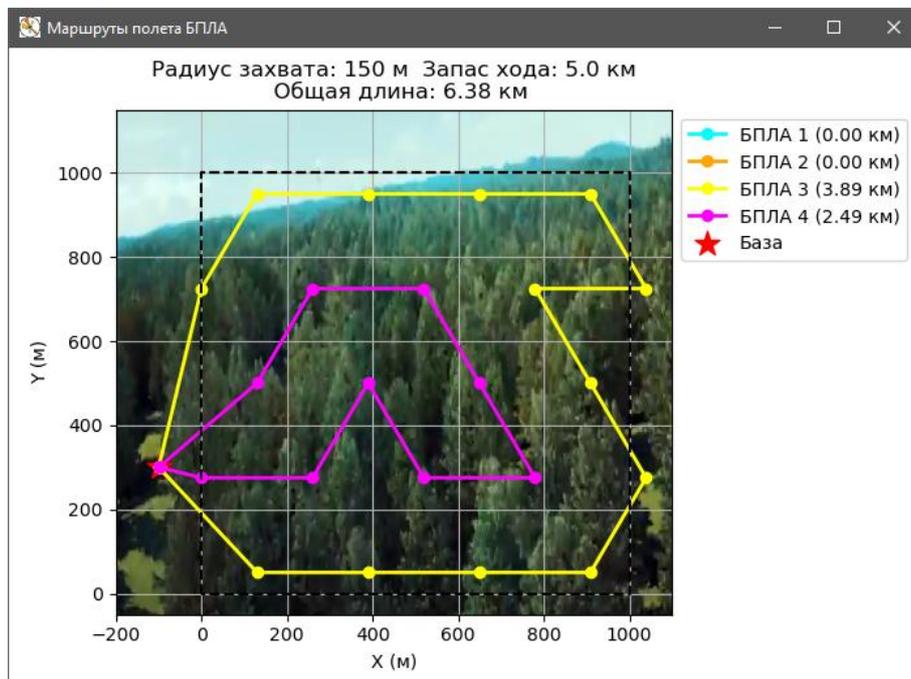
**Рисунок 2** Маршруты четырех БАС на плоскости 1×1 км при  $R=50$ .

**Figure 2** Routes of four UAVs on a plane of 1x1 km at  $R=50$ .



**Рисунок 3** Маршруты четырех БАС на плоскости 1×1 км при  $R=100$ .

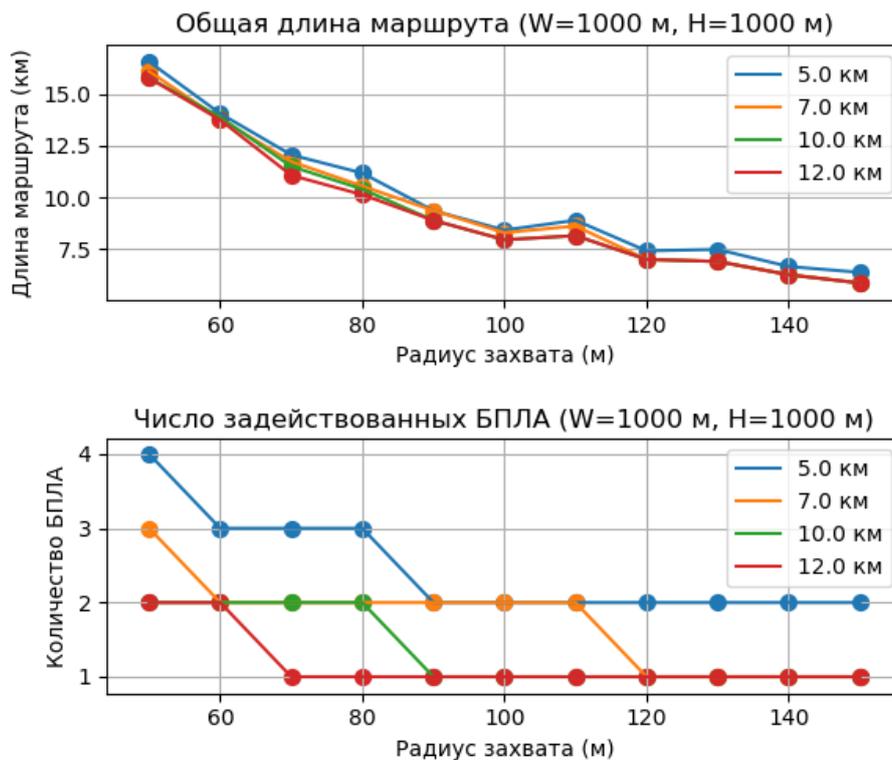
**Figure 3** Routes of four UAVs on a plane of 1x1 km at  $R=100$ .



**Рисунок 4** Маршруты четырех БАС на плоскости 1×1 км при R=150.

**Figure 4** Routes of four UAVs on a plane of 1x1 km at R=150.

Приведенные выше графики маршрутов являются важным элементом верификации, так как они визуально подтверждают работоспособность алгоритма, демонстрируют влияние ключевых параметров и обеспечивают наглядное представление результата. Они дополняют числовые данные таблицы и повышают доверие к эффективности предложенной методики.



**Рисунок 5** Зависимость характеристик маршрутизации от радиуса захвата и запаса хода.

**Figure 5** Dependence of routing characteristics on the capture radius and power reserve.

Проведенные дополнительные исследования (рис. 5) позволяют сделать вывод, что длина маршрутов и число используемых дронов демонстрируют обратно пропорциональную зависимость

от радиуса захвата и запаса хода. Как видно из первого графика суммарная длина маршрутов в основном зависит от радиуса захвата и очень слабо изменяется при разных запасах хода, которыми могут обладать БАС.

При малых радиусах захвата (менее 80 м) система критически зависит от запаса хода. Однако начиная с 80–90 м это влияние существенно снижается. И можно сделать вывод, что при таких радиусах захвата для мониторинга лесного квартала 1 × 1 км уже достаточно не более двух дронов с любым запасом хода от 5 км. При радиусе захвата более 90 метров может потребоваться вообще только один БАС с запасом хода от 10 км. Для больших радиусов захвата (более 120 м) различия между вариантами с разным запасом хода сглаживаются, подтверждая приоритетность радиуса захвата как основного фактора оптимизации.

Графики наглядно демонстрируют корректность работы алгоритма и его способность адаптироваться к изменению входных параметров, обеспечивая минимальные затраты ресурсов при полном покрытии территории.

**Выводы.** Разработанная методика маршрутизации БАС для мониторинга лесных участков основана на использовании шестиугольной решетки и обеспечивает полное покрытие территории без зазоров, минимизируя суммарную длину маршрутов при соблюдении ограничений на запас хода. Проведенные расчеты показали, что увеличение радиуса захвата камеры снижает количество точек съемки, упрощает маршруты и позволяет использовать меньшее количество аппаратов. Аналогично, увеличение запаса хода БАС приводит к сокращению длины маршрутов и числа аппаратов. Использование шестиугольной решетки минимизирует избыточное перекрытие и оптимизирует распределение точек съемки, что более эффективно по сравнению с традиционными подходами.

Методика обладает универсальностью и может быть адаптирована для широкого спектра задач мониторинга, выходящих за рамки лесных участков. Она применима в таких областях, как сельское хозяйство, инфраструктурный мониторинг и картографирование, где требуется равномерное покрытие территории. Например, использование шестиугольной решетки может быть полезно для подготовки данных в компьютерных моделях рельефа местности, что отмечается в современных исследованиях [5]. Кроме того, предложенный алгоритм маршрутизации может быть интегрирован в системы управления автономными судами [6] или использоваться для планирования траекторий БАС с учетом дополнительных требований, таких как снижение скорости в конечной точке [7]. Это подчеркивает актуальность и практическую значимость разработанного подхода.

Таким образом, предложенная методика демонстрирует высокую эффективность, гибкость и потенциал для применения в различных областях, связанных с управлением автономными системами и мониторингом территорий. Её преимущества заключаются не только в обеспечении оптимального покрытия территории, но и в возможности адаптации к различным условиям и ограничениям. Дальнейшие исследования могут быть направлены на учет дополнительных факторов, таких как препятствия, погодные условия или многозадачность, что позволит расширить область применения методики и повысить её практическую ценность.

#### Список использованных источников

1. Franco C. D., Buttazzo G. G. Coverage Path Planning for UAVs Photogrammetry with Energy and Resolution Constraints //Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2016, Volume 83, Issue 3-4, Pages 445 – 462.
2. Vehicle routing problem [Электронный ресурс]. URL [https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle\\_routing\\_problem](https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_routing_problem) (дата обращения: 28.03.2025).
3. Хабаров С. П. Анализ возможности применения муравьиных алгоритмов для решения логистических задач // Естественные и технические науки: обсуждение проблем, пути совершенствования : Сборник научных статей. – Ульяновск: Издательство "Зебра", 2024. – С. 40-45. – EDN OFLINI.
4. Vehicle Routing Problem [Электронный ресурс]. URL <https://developers.google.com/optimization/routing/vrp> (дата обращение: 28.03.2025)

5. Васильев Н. П. Вагизов М. Р. Подготовка данных для компьютерных моделей рельефа местности с помощью мобильного приложения // Информационные системы и технологии: теория и практика : Сборник научных трудов. – СПб : СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, 2024. – С. 5-18. – EDN MIPIOP.
6. Коренев А. С. Автономное судовождение на действующих // Морской вестник. – 2022. – № 1(81). – С. 92-95. – EDN MIPIOP.
7. Вагизов М. Р. Расчет траектории движения БПЛА с учетом требования снижения его скорости в конечной точке / М. Р. Вагизов, С. П. Хабаров // Информация и космос. – 2022. – № 1. – С. 122-128. – EDN YRTHKE.

#### Reference

1. Franco C. D., Buttazzo G. G. Coverage Path Planning for UAVs Photogrammetry with Energy and Resolution Constraints //Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2016, Volume 83, Issue 3-4, Pages 445-462.
2. Vehicle routing problem [Electronic resource]. URL [https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle\\_routing\\_problem](https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_routing_problem) (date of access: 03/28/2025).
3. Khabarov, S. P. Analysis of the possibility of using ant algorithms to solve logistical problems // Natural and technical sciences: discussion of problems, ways of improvement: Collection of scientific articles. Ulyanovsk: Zebra Publishing House, 2024, pp. 40-45. – EDN OFLINI.
4. Vehicle Routing Problem [Electronic resource]. URL <https://developers.google.com/optimization/routing/vrp> (date of appeal: 03/28/2025)
5. Vasiliev, N. P. Vagizov, M. R. Data preparation for computer terrain models using a mobile application // Information systems and technologies: theory and practice : Collection of scientific papers. – St. Petersburg : SPbGLTU named after S.M. Kirov, 2024. – pp. 5-18. – EDN MIPIOP.
6. Korenev, A. S. Autonomous navigation in the sea // Marine Bulletin. – 2022. – № 1(81). – Pp. 92-95.
7. Vagizov, M. R. Calculation of the trajectory of a UAV, taking into account the requirement to reduce its speed at the end point / M. R. Vagizov, S. P. Khabarov // Information and space. – 2022. – No. 1. – pp. 122-128.

#### **Khabarov Sergey P.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Department of Information Systems and Technologies, Saint-Petersburg State Technical University named after S.M.Kirov,

Saint-Petersburg

E-mail: [serg.habarov@mail.ru](mailto:serg.habarov@mail.ru)

#### **Vagizov Marsel R.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Head of the Department of Information Systems and Technologies.

Saint-Petersburg State Forest technical University named after S. M. Kirov, <sup>2</sup>professor of the department information technologies and security systems, Russian state hydrometeorological university

Saint-Petersburg

E-mail: [bars-tatarin@yandex.ru](mailto:bars-tatarin@yandex.ru)

**ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ТРАНСКРИБАЦИИ, АНАЛИЗА И КОРРЕКЦИИ  
ГОЛОСОВОГО СООБЩЕНИЯ, ПОСЫЛАЕМОГО В ЧАТ-БОТ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ ПРИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ТЕРРИТОРИИ**

**Зяц Анатолий Моисеевич**

Кандидат технических наук, профессор  
профессор кафедры информационных систем и технологий СПб ГЛТУ  
имени С.М. Кирова.

Заслуженный работник высшей школы Санкт-Петербурга

E-mail: [zamfta@yandex.ru](mailto:zamfta@yandex.ru)

**Васильев Матвей Андреевич**

студент 2 курса ИЛиП  
кафедра информационных систем и технологий  
СПб ГЛТУ имени С.М. Кирова  
Санкт-Петербург

E-mail: [matveivasilev587@gmail.com](mailto:matveivasilev587@gmail.com)

**Абрамова Дарья Александровна**

студентка 2 курса ИЛиП  
кафедра информационных систем и технологий  
СПб ГЛТУ имени С.М. Кирова  
Санкт-Петербург

E-mail: [D9374413125@yandex.ru](mailto:D9374413125@yandex.ru)

**Баланин Эдуард Нураддинович**

студент 2 курса ИЛиП  
кафедра информационных систем и технологий  
СПб ГЛТУ имени С.М. Кирова  
Санкт-Петербург

E-mail: [antisanitariawzcr@mail.ru](mailto:antisanitariawzcr@mail.ru)

***Аннотация.** Статья посвящена рассмотрению процесса транскрибации, этапам ее реализации, области применения и анализу разработанного авторами приложения для приема голосовых сообщений пользователей в телеграм-бот, проведения обработки с целью правильного их построения и предоставления результатов пользователю*

***Ключевые слова:** голосовые сообщения, транскрибация, текст, чат-бот*

**APPLICATION FOR TRANSCRIBING, ANALYZING, AND CORRECTING A VOICE  
MESSAGE SENT TO A CHATBOT BY A USER DURING ENVIRONMENTAL  
MONITORING OF A TERRITORY**

***Abstract.** The article is devoted to the consideration of the transcription process, the stages of its implementation, the scope and analysis of the application developed by the authors for receiving users'*

voice messages in a telegram bot, processing them in order to correctly construct them and provide the results to the user.

**Keywords:** voice messages, transcribition, text, chatbot

**Введение.** Экологический мониторинг необходим для получения оценки негативной динамики изменения природной окружающей среды, воздуха, акватории под воздействием техногенных факторов, после строительства объекта. Мониторинг позволяет предотвратить или снизить риски ухудшения экологических условий на территории в границах участка, путём разработки и внедрения мероприятий, для защиты окружающей среды. Мониторинг проводится различными методами, однако зачастую он возможен только путем обхода и анализа изменений в окружающей среде с записью речевых сообщений [1].

После обхода территории и записи голосового сообщения о ее состоянии, необходимо сформировать текстовые отчеты мониторинга по экологическому состоянию исследуемой местности из голосовых сообщений наблюдения для дальнейшему изучению и анализа, как выполняются требования по улучшению экологической обстановки на местности.

В настоящее время решение этой задачи лежит в плоскости транскрибации или технологии speech-to-text (STT), существо которой состоит в преобразования речи из аудио в текст, то есть ее перевода из звукового формата в письменный.

**Общая характеристика транскрибации.** Транскрибация — это точный перевод речи из аудио или видео в текст. Следует отметить, что процедура транскрибации включает несколько этапов обработки голосового сообщения при переводе его в текст, схема этапов и их взаимосвязи представлены на рисунке 1.

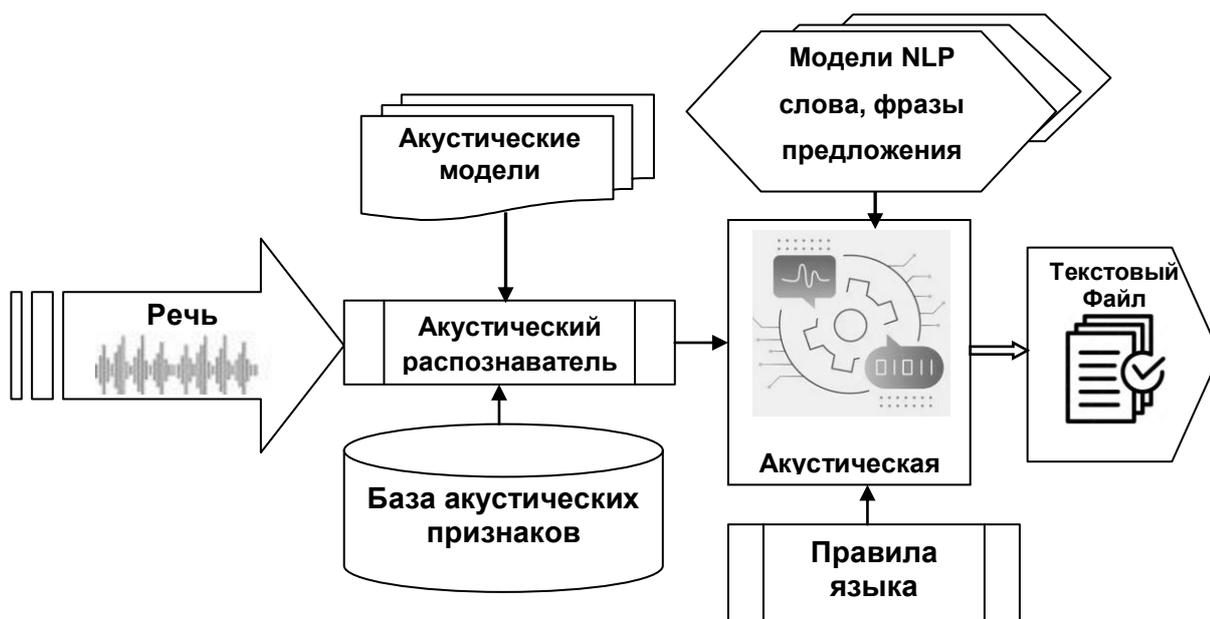


Рисунок 1. Схема этапов транскрибации

Figure 1. Schematic of transcribing steps

Рассмотрим кратко содержание этапов транскрибации. На этапе анализа сигнала система получает голосовую запись, очищает и разделяет на одинаковые фрагменты. Акустические модели на основе данных из базы акустических признаков, позволяют определить и различить звуки в аудиозаписи, и какой набор низкоуровневых признаков соответствует звуковому сигналу.

Языковая модель по результатам акустической модели генерирует текст по словам. Далее акустический распознаватель, используя результаты акустических моделей осуществляет расшифровку голоса. Алгоритм модели сравнивает звуки с эталонным произношением и определяет в потоке голосового сообщения те, из которых состоят слова речевом сообщении.

На следующем этапе проводится так называемая обработка естественного языка (Natural Language Processing – NLP), путем взаимодействия между компьютером и человеческим языком. NLP – обработка позволяет компьютерам понимать, интерпретировать и генерировать человеческий язык таким образом, чтобы это было применимо в различных приложениях, например, в чат-ботах. Языковая модель NLP готовит текстовый материал на основе лингвистической обработки с использованием моделей слов, фраз, предложений и правил языка для перевода речи в текст.

В настоящее время сложились определенные подходы в построении систем транскрибации. Большинство компаний не разрабатывают свои системы с нуля – это дорого и сложно. Вместо этого они подключают API (Application Programming Interface) готовых решений, которые позволяют интегрировать транскрибацию в приложения, сервисы, различные приложения и чат-боты [2,3,4].

Однако при любом подходе построения систем транскрибации на качество полученного текста оказывают влияние различные негативные факторы на каждом из этапов.

Так часто возникают проблемы с содержанием и наличием некорректных фраз в полученном тексте. Существуют ограничения при восприятии сложной терминологии, что приводит к ошибкам в распознавании нестандартных оборотов речи. Не всегда корректно записываются голосовые сообщения в шумной среде и при нечёткой дикции, высоком темпе речи, скорости и громкости разговора. Чем тише и «грязнее» аудиозапись, тем хуже будет качество распознанной речи.

Необходимо также учитывать то обстоятельство, что чем меньше обучен бот, тем больше неточностей может быть при транскрибации.

Анализ показывает, что даже самые продвинутые системы транскрибации пока не могут идеально трансформировать аудио в текстовый формат. Они лишь сокращают время перевода аудиозаписи в текст, упрощают работу, но всё равно требуют коррекции человеком, то есть «ручного» исправления текста после транскрибации.

В данной статье представлено разработанное авторами приложение, которое позволяет в большинстве решать эти проблемы.

**Структура и описание приложения.** Приложение предназначено для приема голосовых сообщений пользователей в телеграм-бот, проведения обработки с целью правильного их построения и предоставления результатов анализа речи пользователю по следующим параметрам (метрикам): скорости речи (слов в минуту), количеству и проценту слов «паразитов», средней длины фразы, лексического разнообразия, словесной избыточности.

Для создания Telegram-бота на языке программирования Python была использована удобная библиотека Aioogram. Она позволила легко и быстро разработать бот, используя асинхронные функции и удобный интерфейс.

Для эффективного решения параллельной отправки запросов выбрана комбинация библиотек `asuncio` и `aiohttp`, поддерживающих асинхронные операции, обеспечивающие возможность массовой отправки запросов с использованием асинхронного программирования.

Для непосредственной транскрибации выбран специально разработанный для российских проектов и разработчиков OpenAPI Nexara — это современный онлайн-сервис, предлагающий быстрый и доступный API. OpenAI API – это облачная платформа, предоставляющая разработчикам

доступ к языковым моделям OpenAI, таким как GPT-3, через API. Она позволяет разработчикам добавлять функции обработки естественного языка, такие как завершение текста, анализ настроения, обобщение и перевод, в свои приложения без разработки и обучения своих моделей. Эта платформа обеспечивает высококачественное преобразование аудио в текст, что позволило интегрировать функции распознавания речи в разработанное приложение.

Приложение работает следующим образом. Пользователь отправляет голосовое сообщение боту. Бот загружает аудиофайл, сохраняет его локально и передаёт в нейросетевой API Nexaга для транскрибации - точного перевода речи из аудио в текст. После обработки система анализирует текст по ключевым метрикам с помощью специальных алгоритмов. Результаты анализа сопровождаются числовыми оценками выбранных параметров и персонализированными рекомендациями по улучшению речевых навыков, которые отображаются в интерфейсе приложения рисунок 2.

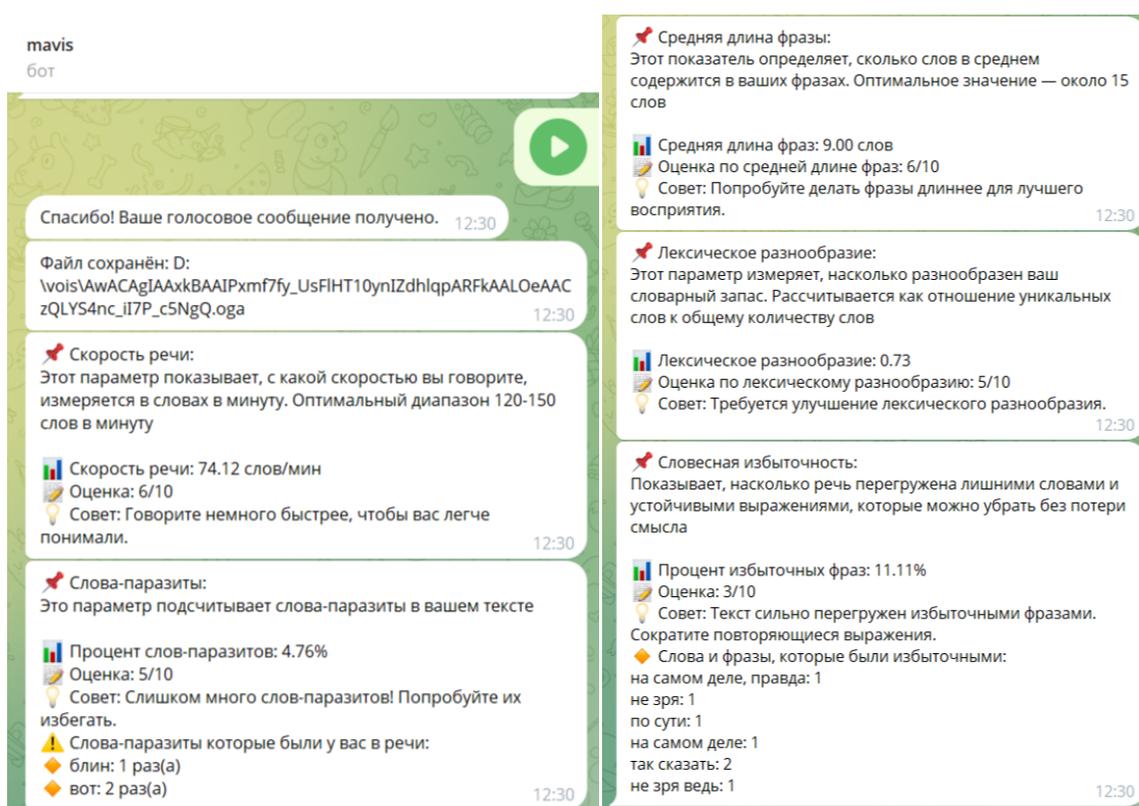


Рисунок 2. Интерфейс приложения

Figure 2. Application interface

Интерфейс, как видимая часть приложения и отображаемая в браузере, содержит набор кнопок, текста, картинок, переходов и анимации которые позволяют и помогают пользователю взаимодействовать с приложением и получить качественный результат транскрибации.

Также пользователь получает детализированный отчёт анализа и обработки с рекомендациями по их улучшению. Данные о голосовых сообщениях пользователей сохраненные в локальной базе данных, дают возможность дальнейшего обучения приложения для повышения точности анализа и обработки.

**Заключение.** Применение представленного приложения позволяет использовать его не только для записи голосовых сообщений наблюдения и формирования текстовых отчетов мониторинга окружающей среды, но и при автоматическом переводе лекций преподавателя для студентов в текстовый конспект, при ведении протоколов собраний и деловых встреч, при работе с

голосовыми записями интервью, для написания научных статей. Приложение также может применяться для тренировки навыков ораторского мастерства, подготовки к публичным выступлениям, к устным собеседованиям и экзаменам, для коррекции и улучшения речи в логопедической практике.

Важным в приложении является то, что в ходе транскрибации осуществляется улучшение качества текста, а пользователь получает детализированный отчёт с рекомендациями по улучшению записываемой речи.

Использование так называемого автотюнинга в приложении, позволяет сохранять переданные в речевом сообщении данные и применять их для дальнейшего обучения в моделях, для повышения качества распознавания речи в процессе транскрибации, не требуя дополнительных действий по сбору данных.

#### **Список использованных источников**

1. Заяц, А. М. Беспроводные сенсорные сети в лесном хозяйстве. Построение, применение и исследование : учебное пособие для вузов / А. М. Заяц, С. П. Хабаров. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 128 с. — ISBN 978-5-507-47557-5. — Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/388982>
2. Как транскрибировать аудио в текст: суть процесса, его преимущества и недостатки. [Электронный ресурс]. URL: <https://follow-up.tech/transkribovat-audio-v-tekst/> (Дата обращения: 10.04.2025)
3. Технологии распознавания речи: как работают и где используются. [Электронный ресурс]. URL: <https://follow-up.tech/tekhnologii-raspoznavaniya/> (Дата обращения: 10.04.2025)
4. 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.

#### **Reference**

1. Zayats, A.M. Wireless sensor networks in forestry. Construction, application and research: a textbook for universities / A.M. Zayats, S. P. Khabarov. — 2nd ed., erased. — Saint Petersburg : Lan, 2024. — 128 p. — ISBN 978-5-507-47557-5. — Text: electronic // Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/388982>
2. How to transcribe audio into text: the essence of the process, its advantages and disadvantages. [Electronic resource] – URL:<https://follow-up.tech/transkribovat-audio-v-tekst/> / (Date of request: 04.10.2025)
3. Speech recognition technologies: how they work and where they are used. . [Electronic resource] – URL: <https://follow-up.tech/tekhnologii-raspoznavaniya/> / (Date of request: 04.10.2025)
4. Desktop application for automated georeferencing of remote sensing data / K. A. Martyn, V. D. Troitsky, V. A. Lobacheva, M. R. Vagizov // Collection of scientific papers of the Council of Young Scientists of SPbGLTU: Collection of articles. - St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov, 20. S.M. Kirov, 2024. - C. 81-86.

### ***APPLICATION FOR TRANSCRIBING, ANALYZING, AND CORRECTING A VOICE MESSAGE SENT TO A CHATBOT BY A USER DURING ENVIRONMENTAL MONITORING OF A TERRITORY***

**Zayats Anatoly M.**

Candidate of Technical Sciences, Professor

Professor of the Department of Information Systems and Technologies of the St. Petersburg State Forest Technical University

named after S. M. Kirov. Honored Worker of Higher Education of St. Petersburg

E-mail: [zamfta@yandex.ru](mailto:zamfta@yandex.ru)

**Vasiliev Matvey A.**

2nd year student of the Institute of Information and Law

Department of Information Systems and Technologies of the St. Petersburg State Forest Technical University

Saint Petersburg

E-mail: [matvejvasilev587@gmail.com](mailto:matvejvasilev587@gmail.com)

**Abramova Darya A.**

2nd year student of the Institute of Information and Law

Department of Information Systems and Technologies of the St. Petersburg State Forest Technical University

named after S. M. Kirov. Kirov

Saint Petersburg

E-mail: [D9374413125@yandex.ru](mailto:D9374413125@yandex.ru)

**Balanin Eduard N.**

2nd year student of the Institute of Literature and Literature

Department of Information Systems and Technologies

St. Petersburg State Technical University named after S.M. Kirov

Saint Petersburg

E-mail: [antisanitariawzcr@mail.ru](mailto:antisanitariawzcr@mail.ru)

## РАЗДЕЛ ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 504.73.05

### К ПРОБЛЕМЕ СКОРОСТИ ОБЕЗЛЕСИВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БРАЗИЛИЯ

**Бобровская Рита Маратовна**

Генеральный директор  
ООО «Авто Миракл РУС»  
г. Москва  
E-mail: [ritabk@bk.ru](mailto:ritabk@bk.ru)

**Аннотация:** В статье рассматриваются основные проблемы обезлесивания территории государства Бразилии, описываются масштабы и площади вырубок во временной динамике. Дана общая оценка на основе различных данных, в том числе данных объективного контроля при помощи спутниковых технологий открытого доступа. Указываются причины потери лесной растительности, рассматриваются опыт различных стран в применении различных программ для снижения темпов рубок.

**Ключевые слова:** вырубки, лесное хозяйство, обезлесивание, экологические нарушения, потеря лесного покрова, спутниковые технологии, лесное законодательство, лесные экосистемы, тропические леса.

#### **TOWARDS A DEFORESTATION RATE FOR THE REPUBLIC OF BRAZIL**

**Abstract:** The article examines the main problems of deforestation in the territory of Brazil, describes the scale and area of logging in time dynamics. A general assessment is given based on various data, including objective monitoring data using open access satellite technologies. The reasons for the loss of forest vegetation are indicated, and the experience of various countries in applying various programs to reduce logging rates is considered.

**Keywords:** logging, forestry, deforestation, environmental damage, loss of forest cover, satellite technology, forest legislation, forest ecosystems, tropical forests.

**Введение.** В статье рассматривается одна из серьезных экологических проблем современности – стремительная потеря лесного покрова в Республике Бразилия. Обезлесение в Бразилии – серьезная экологическая и социальная проблема с глобальными последствиями. Бразилия является домом для большей части тропических лесов Амазонки, которые играют ключевую роль в регулировании климата, сохранении биоразнообразия и производстве кислорода. Однако темпы обезлесения в стране остаются на высоком уровне, несмотря на международные усилия и внутренние инициативы.

Если обратиться к материалам дистанционного зондирования Земли [1-3] и специальным web-картографическим сервисам, можно провести оценку темпов и скорости обезлесивания, оценить динамику изменений и сделать предварительный прогноз возможных темпов сокращения лесов, при условии сохранения скорости обезлесивания в текущих масштабах, ситуация представляется катастрофичной без преувеличения.

Как видно из рисунка 1, большая часть площади страны фактически осталась без покрытой лесом площади, за исключением бассейна реки Амазонка, где наблюдается покрытие лесами. Однако, не трудно предположить, негативную тенденцию стремительного обезлесивания, при

сохранения тех же темпов рубок, которые наблюдаются в последние годы. Для оценки скорости потери лесного покрова в нашем исследовании будут использованы данные сервиса Global Forest Watch.

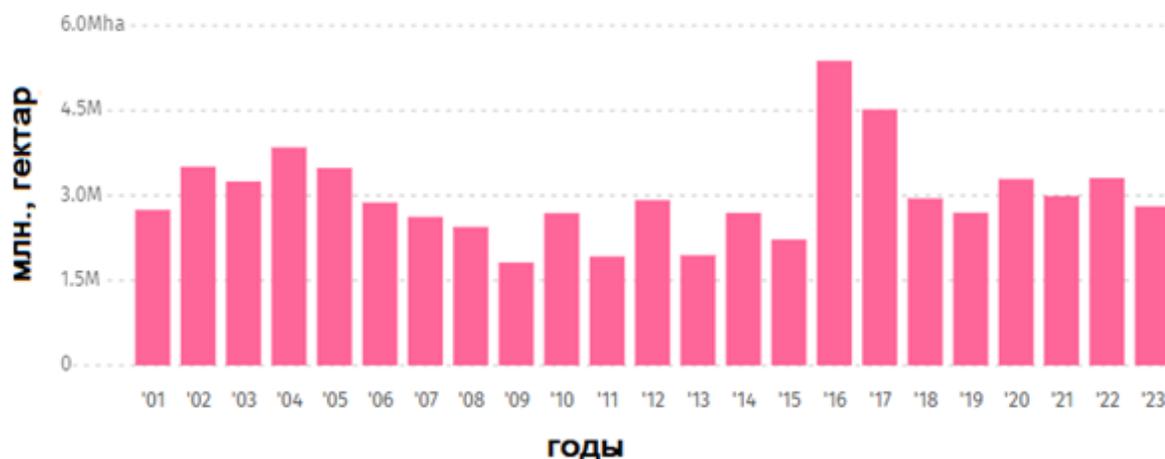


**Рисунок 1.** Откорректированное цветосинтезированное изображение Бразилии источник Maxar

**Figure 1.** Corrected color-synthesized image of Brazil source Maxar

В научных работах авторов [4-7] неоднократно указывается о потере растительности и темпах обезлесивания. Однако отсутствие данной информации в широкой общественности и СМИ [8-9] не даёт должного эффекта к снижению темпов рубок. Более того, не смотря на наличие открытых дистанционных материалов и призывов международных организаций к сокращению рубок, темпы не только снизились, они находятся в темпе роста, исходя из данных Global Forest Watch (GFW)[9] где, ежегодно с 2016 года потери лесного покрова составляют более чем 3 миллиона гектар в год. [2]

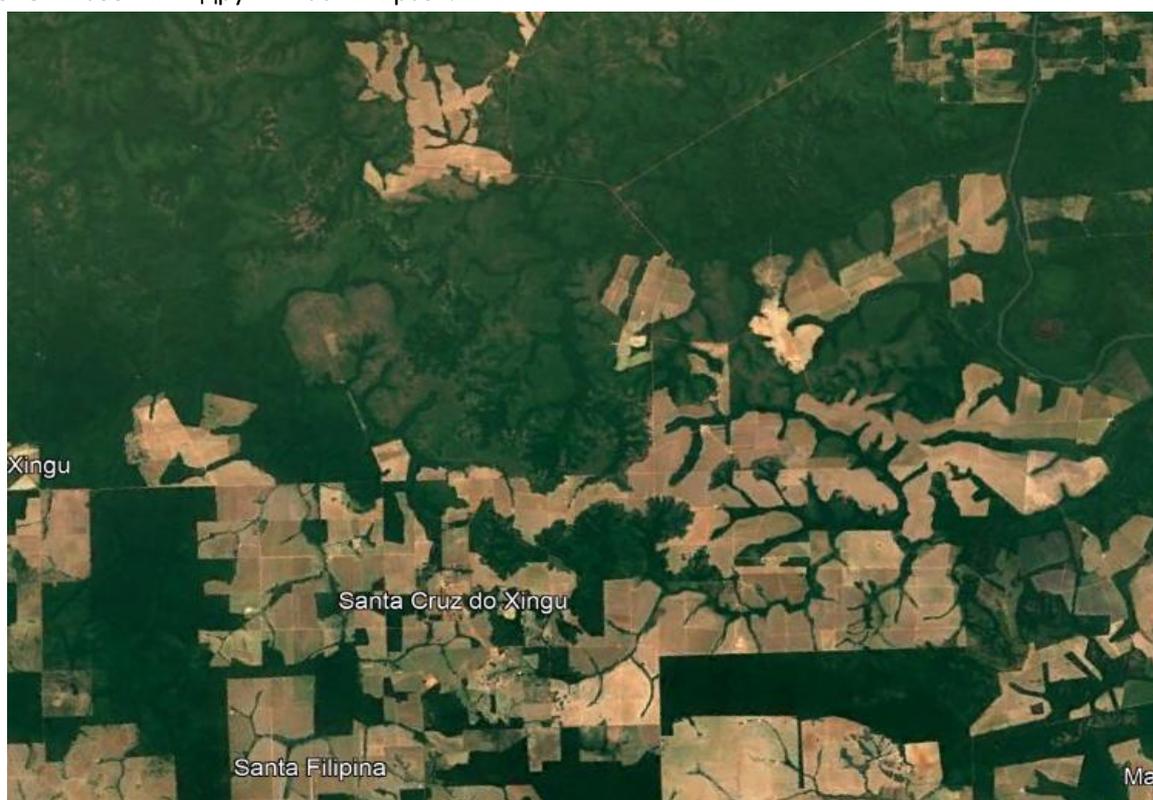
Проанализировав данные GFW на всю территорию Республики Бразилии, возможно, провести оценку ежегодной потери лесного покрова начиная с 2001 года. Наименьший показатель потери леса, составлял 1,6 миллионов гектар в 2009 году, а наибольший около 5 миллионов гектар в 2016 году, что сопоставимо с площадью некоторых государств.



**Рисунок 2.** График скорости потери лесного покрова 2001 - 2023 годы Бразилия по данным Global Forest Watch

**Figure 2.** Graph of forest cover loss rate 2001 - 2023 Brazil according to Global Forest Watch data

Основные проблемы скорости потери лесного покрова. Крупнейшая причина обезлесения Бразилии состоит в увеличении доли сельскохозяйственной продукции и как следствие расчистку лесных массивов под пастбища для крупного рогатого скота и сельского хозяйства (рисунок 3). Бразилия является одним из крупнейших экспортеров мяса в мире, и спрос на говядину стимулирует дальнейшее расширение сельскохозяйственных угодий под соевые плантации. Выращивание сои, в основном для корма скота, также является значительным фактором обезлесения, особенно в регионе Амазонки и других частях Бразилии.



**Рисунок 3.** Сплошные вырубki в штате Мату-гросу под задачи сельского хозяйства источник Maxar

**Figure 3.** Clear-cutting in Mato Grosso State for agricultural tasks Maxar source

Незаконная вырубка деревьев для получения ценной древесины, например, красного дерева и тика, является постоянной проблемой [10] Часто эти операции проводятся организованными преступными группами, которые действуют в отдаленных районах.

После незаконной вырубки леса, земля часто продается для дальнейшего использования под сельское хозяйство или другие цели.

Добыча золота и других полезных ископаемых, особенно незаконная, также приводит к обезлесению и загрязнению окружающей среды. Под данные задачи происходит расчистка территории, сопровождающаяся вырубками. Помимо этого, оказывается влияние и на другие экосистемы, в частности на речные системы и почву в зависимости от типа и способа добычи полезных ископаемых.



**Рисунок 4.** Минас-Жерайс, крупнейший горнодобывающий штат Бразилии источник Махар

**Figure 4.** Minas Gerais, Brazil's largest mining state Maxar source

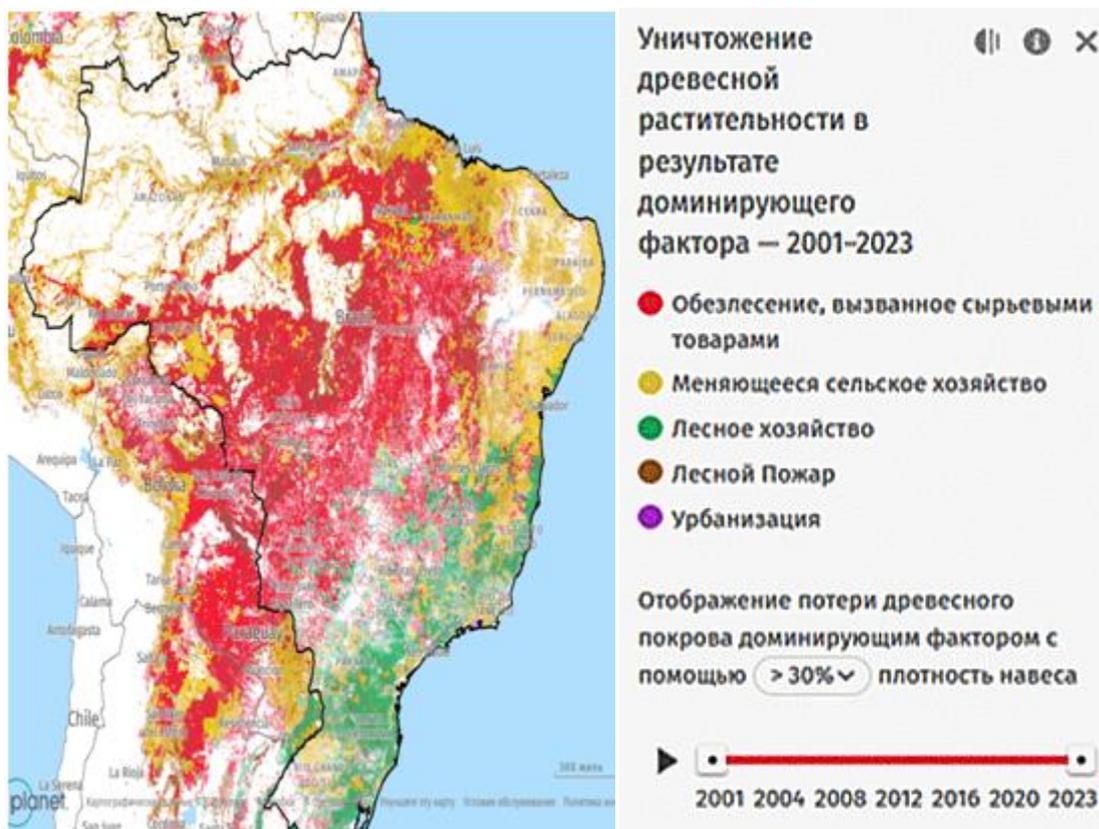
Строительство новых дорог для добычи и транспортировки ресурсов открывает доступ к ранее нетронутым лесным массивам, делая их уязвимыми для вырубки и освоения.

Строительство крупных гидроэлектростанций требует затопления больших территорий, что приводит к уничтожению лесных массивов и нарушению экосистем.

Рост населения и городов также способствует обезлесению, особенно вблизи густонаселенных районов.

Часто лесные пожары используются для расчистки земли под сельское хозяйство или скотоводство. Эти пожары могут выходить из-под контроля, нанося огромный ущерб лесным массивам и биоразнообразию. Глобальной системой информирования о лесных пожарах (GWIS) в 2024 году в Бразилии было зафиксировано 53 302 пожара. В результате сгорело примерно 37 578 692 гектара тропических болот в бразильском Пантанале в штате Мату-Гросу-ду-Сул, дождевых лесах Амазонии и регионе Серраду.

Анализируя данные, материалов GFW (рисунок 5) можно сделать вывод, что за последние 22 года, основным фактором потери растительности является - обезлесивание связанное с получением сырья (древесины) – 65%. Второй причиной является расчистка территории под нужды сельского хозяйства – 20 % остальные причины 15%, включая лесные пожары и процессы, связанные с урбанизацией.



**Рисунок 5.** Гибель древостоев по различным причинам источник Global Forest Watch

**Figure 5.** Stand mortality due to various causes source Global Forest Watch

Изменение климата, ведущее к засухе и повышению температуры, усугубляет ситуацию с лесными пожарами.

Слабое соблюдение законов и неэффективный контроль над лесными территориями, делают незаконные операции возможными. Коррупция на местном и государственном уровнях также способствует обезлесению, позволяя нарушителям уходить от ответственности.

По данным отчёта FAO в последние два десятилетия некоторые страны предоставили права собственности на лес коренным общинам: в Боливии — 12 миллионов гектаров; в Бразилии — 103 миллиона гектаров; в Колумбии — 27 миллионов гектаров; в Эквадоре — 4,5 миллиона гектаров и в Гайане — 1,4 миллиона гектаров земельных площадей, включая леса. Несмотря на то, что право собственности обеспечивает гарантированные права общин на рациональное использование лесных ресурсов, споры в отношении прав собственности и недостаточный уровень контроля за соблюдением правил и нормативных актов приводили к самовольному занятию лесных участков и проведению заготовок на обширных площадях этих лесов. за период с 1990 по 2020 год 420 млн га лесов было переведено в другие виды землепользования. Темпы обезлесения за этот период снизились: в 1990–2000 годы они составляли 15,8 млн га в год, в 2015–2020 годы – 10,2 млн га в год. Ежегодные темпы обезлесения в 2015–2020 годы составляли 4,41 млн га в Африке, 2,95 млн га в Южной Америке и 2,24 млн га в Азии.

Изменение площади лесов обусловлено двумя факторами: обезлесением и расширением лесных площадей на территориях, ранее относившихся к другим видам землепользования. На глобальном уровне чистые темпы изменения площади лесов в период 2010–2020 годов, т. е. разница между темпами расширения площади лесов и темпами обезлесения, оценивается в -4,7 млн га в год. Это существенно ниже показателей двух предшествующих десятилетий (-7,8 млн га в год в 1990–2000 годах и -5,2 млн га в год в 2000–2010 годах).

Данные за последние несколько лет показывают значительное увеличение темпов вырубки лесов Амазонки, на три крупнейших региона пришлось 53 % всех потерь древесного покрова в период с 2001 по 2023 год. Наибольшие потери древесного покрова наблюдались в штате Пара - 17,0 Мга по сравнению со средним показателем в 2,55 Мга. Самый высокий уровень обезлесения приходится на регион Амазонки, где ежегодно теряются огромные площади тропических лесов. Данные от INPE (Национальный институт космических исследований Бразилии) часто используются для мониторинга ситуации.

Обезлесение также происходит в других бразильских биомах, таких как Серрадо (саванна) и Атлантический лес. Зависимость от политической ситуации и экономической конъюнктуры делает динамику обезлесения нестабильной. В периоды ослабления экологического контроля или усиления экономического давления на сельское хозяйство, темпы обезлесения могут увеличиваться.

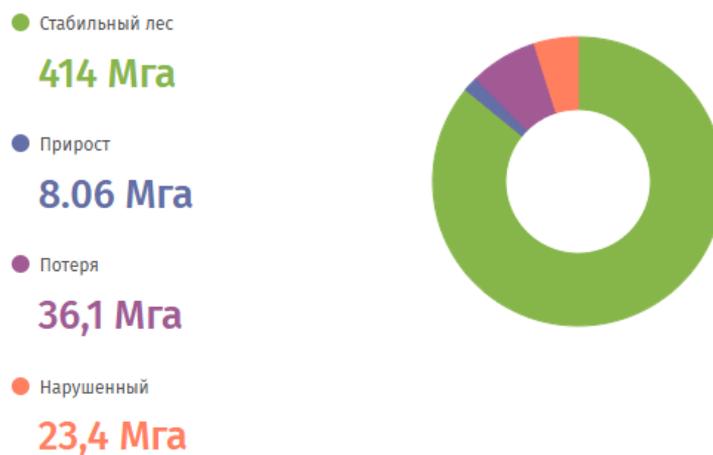
Уничтожение лесов приводит к исчезновению многих видов животных и растений, что важно рассматривать в контексте общей скорости гибели флоры и фауны. По причине человека начиная с 1800 года по данным математической модели Эдварда Уилсона (Рис.6), число видов, которые исчезли в связи с утратой мест обитания достигло более 50 000 тысяч.



**Рисунок 6.** Темпы вымирания видов связанных с исчезновением видов

**Figure 6.** Rate of extinction of species associated with species extinction

1. Вырубка лесов приводит к выбросу больших объемов углекислого газа в атмосферу, способствуя глобальному потеплению.
2. Обезлесение нарушает естественный баланс экосистем, приводя к эрозии почвы, изменению режима осадков и снижению плодородия почвы.
3. Обезлесение часто затрагивает коренное население и местные общины, которые зависят от лесных ресурсов.
4. Потеря лесов влияет на экономику страны, так как леса играют важную роль в производстве товаров и услуг.



**Рисунок 7.** Доля по типам изменений лесных территорий в Бразилии по данным Global Forest Watch

**Figure 7.** Proportion by type of forest area change in Brazil according to Global Forest Watch

Меры по борьбе с обезлесением. Существует несколько комплексных мер, соблюдение которых может привести к улучшению ситуации, однако при сохранении текущей динамики вырубке леса, на восстановление лесных экосистем, фактически может не хватить времени, в связи с низкой скоростью роста лесных культур и отсутствием гарантий успешного естественного восстановления леса. К некоторым мерам можно отнести:

1. Усиление законодательства и правоприменительной деятельности;
2. Устойчивое землепользование и сельское хозяйство;
3. Сохранение существующих лесов;
4. Восстановление лесов;
5. Экономические стимулы;
6. Повышение осведомленности общественности;
7. Международное сотрудничество.

**Меры на законодательном уровне.** Правительство Бразилии всё же предпринимает некоторые шаги по усилению контроля над лесными территориями и использует спутниковые технологии для мониторинга вырубки. Например, план действий по предотвращению и контролю вырубки лесов в законной Амазонии (PPCDAm), запущенный в 2004 году, был одной из самых успешных инициатив. В него входил мониторинг с помощью спутников, усиление правоохранительной деятельности, создание охраняемых территорий, предоставление кредитов и технической помощи фермерам и предпринимателям, которые придерживаются устойчивых методов ведения сельского хозяйства и лесоводства;

Национальная система контроля происхождения лесной продукции (SINAFLOR) - система отслеживания была создана для обеспечения законности лесозаготовок. Она отслеживала древесину от места вырубки до конечного потребителя;

Операции "Verde Brasil" - военные операции, направленные на борьбу с незаконной вырубкой и пожарами в Амазонии. Законодательство должно быть направлено на ужесточение наказаний за незаконную вырубку леса и другие экологические преступления. Однако, несмотря на различные инициативы на местном и законодательном уровне общую тенденцию на сегодняшний день, нельзя назвать переломной, этому свидетельствуют объективные данные спутникового контроля.

Обращаясь к положительным опытам других стран можно рассмотреть примеры ужесточения наказаний за незаконную и иную деятельность, связанную с нарушением лесного хозяйства в других

странах. Индонезия ужесточила законодательство и правоприменительную практику для борьбы с незаконными рубками. Она также создала систему сертификации древесины (SVLK) для обеспечения законности происхождения древесины;

Китай является крупнейшим в мире импортером древесины, и в последние годы он ужесточил правила в отношении импорта древесины, требуя от поставщиков доказывать законность происхождения древесины.

Европейский Союз (EU) закон EU Timber Regulation (EUTR) вступивший в силу в 2013 году, запрещает размещение на рынке ЕС незаконно заготовленной древесины и продуктов из нее. Компании, размещающие древесину на рынке ЕС впервые, обязаны минимизировать риск размещения незаконно заготовленной древесины на рынке;

В США закон Lacey Act Amendments of 2008, изначально направленный на защиту дикой природы, был расширен, чтобы запретить импорт, экспорт, транспортировку, продажу или приобретение растений и продуктов из растений (включая древесину), заготовленных в нарушение законов другого государства. Он также требует от импортеров древесины предоставлять информацию о происхождении древесины.

Меры контроля за оборотом древесины и логистических поставок, возможно, использовать при помощи систем мониторинга и применения современных цифровых технологий, начиная от использования RFID меток, заканчивая применением отслеживания маршрута движения техники при помощи GPS. Так в Российской Федерации с Января 2025 года заработала Федеральная государственная информационная система лесного комплекса (ФГИС ЛК), в состав которой входит как картографическое обеспечение данными, так и системы мониторинга вывозки древесины используя систему спутниковой навигации ГЛОНАСС. Так арендаторов лесного фонда, обязали оснастить лесные машины системами мониторинга для отслеживания маршрутов вывозки леса.

Важно создавать экономические стимулы для сохранения лесов, например, путем поддержки проектов по лесовосстановлению и устойчивому использованию лесных ресурсов. К одним из положительных примеров лесовосстановления относится проект REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) международная инициатива, направленная на сокращение выбросов парниковых газов в результате обезлесения и деградации лесов в развивающихся странах. Владельцы лесов могут получать финансирование за сокращение обезлесения и поддержание существующих лесов. Такие инициативы как местные схемы PES (Payments for Ecosystem Services) - платежи за экосистемные услуги, где местные общины или предприятия платят владельцам лесов за сохранение лесов, которые обеспечивают их водой или другими ресурсами. Фактически это инструмент, позволяющий местным сообществам и предприятиям инвестировать в сохранение лесов и получать выгоду от предоставляемых ими экосистемных услуг, обеспечивая устойчивое управление лесными ресурсами и способствуя экономическому развитию.

К дополнительным мерам воздействия на негативные тенденции потери лесопокрытой площади является возможности международного сообщества должно поддерживать усилия Бразилии по борьбе с обезлесением и оказывать финансовую и техническую помощь, привлечение международных наблюдателей, а возможно и полное наложения моратория на любое изъятие древесины и переориентирование экономики в сферу наукоёмких технологий. Здесь важно понимать насколько большая ответственность лежит на государстве за самые ценные на планете тропические лесные экосистемы, и какие последствия могут привести к безконтрольному изъятию древесины.

**Заключение.** С 2001 по 2023 год Бразилия потеряла 68,9 миллионов га древесного покрова. Такая потеря соответствует сокращению древесного покрова на 13% с 2000 года и 37,7 гигатонн выбросов CO<sub>2</sub>. Прирост древесного покрова составил 8.06 миллионов гектар, что составляет всего 6 % от общей площади лесов в республике и 23,4 миллиона гектар являются нарушенными и истощёнными на сегодняшний день.

В Бразилии на три крупнейших региона пришлось 53 % всех потерь древесного покрова в период с 2001 по 2023 год. Наибольшие потери древесного покрова наблюдались в штате Пара - 17,0 Мга по сравнению со средним показателем в 2,55 Мга. Предложены некоторые рекомендации способные повлиять на улучшение ситуации со стремительной потерей лесного покрова.

Сочетание продуманных экономических стимулов, использование современных информационных технологий в вопросе лесовосстановления строгого законодательства и активной международной поддержки является ключом к сохранению лесов для будущих поколений.

#### Список использованных источников

1. Сайт FAO: На официальном веб-сайте FAO [www.fao.org](http://www.fao.org) (дата посещения 01.02.2025)
2. Сайт MDPI Remote Sensing <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/5/805> (дата посещения 26.02.2025)
3. Сайт MDPI Remote Sensing <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/5/818> (дата посещения 26.02.2025)
4. Анализ усыхания древесной растительности по материалам дистанционного зондирования Земли в Гатчинском лесничестве / Р. Б. Борисов, А. А. Селиванов, М. Р. Вагизов [и др.] // Актуальные вопросы лесного хозяйства : материалы VI международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2022 года / Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Реноме», 2022. – С. 203-207.
5. Анализ вырубок по материалам дистанционного зондирования Земли в Забайкальском крае / А. Г. Булгакова, М. Р. Вагизов, Р. Б. Борисов, Д. И. Елисеев // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы VII Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 25–27 мая 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2022. – С. 76-80.
6. Оценка потери лесопокрытой площади Иркутской области с помощью картографических web-сервисов / С. А. Мерзук, Т. А. Герасимова, Е. Д. Шкуренок [и др.] // Актуальные вопросы лесного хозяйства : материалы V международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 11–12 ноября 2021 года / Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2021. – С. 123-126.  
Исследование возобновления лесов после рубок по материалам открытых web - картографических сервисов / М. Р. Вагизов, А. А. Михайлова, А. А. Фетисова [и др.] // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы Всероссийской V научно-технической конференции-вебинара, Санкт-Петербург, 16–18 июня 2020 года / Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2020. – С. 51-54.
7. <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-64532230>
8. <https://www.theguardian.com/environment/2022/may/07/deforestation-of-brazils-amazon-rainforest-surges-to-record-high-for-april>
9. <https://www.globalforestwatch.org/>
10. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2025/ibama-realiza-operacao-de-combate-ao-desmatamento-em-terras-indigenas-no-amazonas>

## Reference

1. FAO website: On the official FAO website [www.fao.org](http://www.fao.org) (date accessed 01.02.2025)
2. MDPI Remote Sensing website <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/5/805> (date accessed 26.02.2025)
3. MDPI Remote Sensing website <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/5/818> (date accessed 26.02.2025) 3.
4. Analysis of woody vegetation desiccation based on remote sensing data in Gatchina forestry / R. B. Borisov, A. A. Selivanov, M. R. Vagizov [et al.] // Actual issues of forestry : proceedings of the VI International Youth Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, November 10-11, 2022 / S. M. Kirov St. Petersburg State Forestry University. - St. Petersburg: Limited Liability Company "Renome", 2022. - C. 203-207.
5. Analysis of clearcuts based on remote sensing data in the Transbaikal Territory / A. G. Bulgakova, M. R. Vagizov, R. B. Borisov, D. I. Eliseev // Forests of Russia: politics, industry, science, education : proceedings of the VII All-Russian scientific and technical conference, St. Petersburg, May 25-27, 2022. - St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov, 2022. - C. 76-80.
6. Assessment of forest area loss in the Irkutsk region using cartographic web-services / S. A. Merzuk, T. A. Gerasimova, E. D. Shkurenkov [et al.] // Actual issues of forestry : proceedings of the V International Youth Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, November 11-12, 2021 / S. M. Kirov St. Petersburg State Forest Engineering University. - St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry Technical University named after S.M. Kirov, 2021. - C. 123-126.  
Study of forest regeneration after logging on the materials of open web - mapping services / M. R. Vagizov, A. A. Mikhailova, A. A. Fetisova [et al.] // Forests of Russia: policy, industry, science, education: proceedings of the All-Russian V scientific and technical conference-webinar, St. Petersburg, June 16-18, 2020 / S. M. Kirov St. Petersburg State Forest Engineering University. S.M. Kirov. - St. Petersburg: Politech-Press, 2020. - C. 51-54.
7. <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-64532230>
8. <https://www.theguardian.com/environment/2022/may/07/deforestation-of-brazils-amazon-rainforest-surges-to-record-high-for-april>
9. <https://www.globalforestwatch.org/>
10. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2025/ibama-realiza-operacao-de-combate-ao-desmatamento-em-terras-indigenas-no-amazonas>

## TOWARDS A DEFORESTATION RATE FOR THE REPUBLIC OF BRAZIL

**Bobrovskaya Rita M.**

SEO

Auto Miracle RUS LLC

Moscow

E-mail: [ritabk@bk.ru](mailto:ritabk@bk.ru)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

### **Колбина Ольга Николаевна**

кандидат технических наук, доцент  
кафедры прикладной информатики  
Российского государственного гидрометеорологического университета  
г. Санкт-Петербург  
E-mail: [olya\\_kolbina@mail.ru](mailto:olya_kolbina@mail.ru)

### **Берников Артём Дмитриевич**

студент института информационных система и геотехнологий  
Российского государственного гидрометеорологического университета  
г. Санкт-Петербург  
E-mail: [FrigatDernik@yandex.ru](mailto:FrigatDernik@yandex.ru)

### **Служева Маргарита Ивановна**

студент института информационных система и геотехнологий  
Российского государственного гидрометеорологического университета  
г. Санкт-Петербург  
E-mail: [mssluzheva@mail.ru](mailto:mssluzheva@mail.ru)

### **Пункевич Дана Марковна**

студент института информационных система и геотехнологий  
Российского государственного гидрометеорологического университета  
г. Санкт-Петербург  
E-mail: [Punkevichdana@gmail.com](mailto:Punkevichdana@gmail.com)

### **Лазарева Вера Дмитриевна**

студент института информационных система и геотехнологий  
Российского государственного гидрометеорологического университета  
г. Санкт-Петербург  
E-mail: [lazver24@gmail.com](mailto:lazver24@gmail.com)

**Аннотация.** В современных реалиях с каждым днём всё более актуальным становится вопрос, связанный с загрязнением атмосферы, поэтому физические методы исследования становятся как никогда актуальны для оценки состояния окружающей среды. В статье представлен анализ различных физических методов, используемых для изучения загрязнения атмосферы, таких как спектроскопия, лидарные технологии, анализ аэрозолей, газоанализаторы и спутниковый мониторинг. Эти технологии позволяют получать точные данные о концентрации, распределении и источниках выбросов загрязняющих веществ в атмосфере. Рассмотрены примеры применения методов. Несмотря на все свои преимущества, такие как высокая точность и надежность, каждый метод имеет свои недостатки и ограничения, такие как высокая стоимость, необходимость в квалифицированном персонале и сложности в интерпретации полученных данных. Тем не менее, несмотря на недостатки, физические методы в настоящее время незаменимы для проведения экологического мониторинга, благодаря возможности получения данных в реальном времени и высокой пространственной разрешающей способности. Использование физических методов для изучения загрязнения атмосферы - ключевой аспект к успешной борьбе за чистоту воздуха и окружающей среды.

**Ключевые слова:** загрязнение, атмосфера, спектроскопия, лидарные технологии, спутниковый мониторинг, газоанализаторы.

## **USE OF PHYSICAL METHODS FOR STUDYING ATMOSPHERIC POLLUTION**

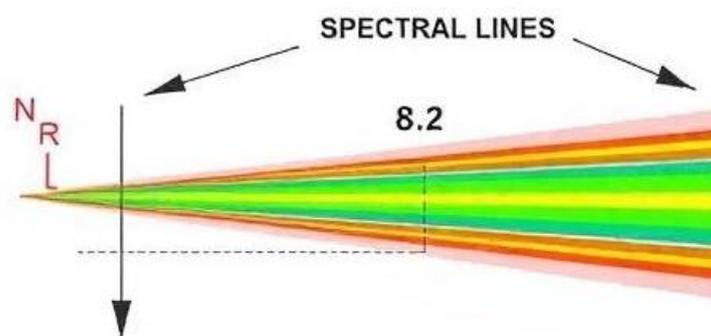
**Abstract.** *In modern realities, the issue of atmospheric pollution is becoming increasingly relevant with each passing day, which is why physical research methods are more pertinent than ever for assessing the state of the environment. The article presents an analysis of various physical methods used to study atmospheric pollution, such as spectroscopy, lidar technologies, aerosol analysis, gas analyzers, and satellite monitoring. These technologies allow for the accurate collection of data on the concentration, distribution, and sources of pollutant emissions in the atmosphere. Examples of method applications are considered. Despite all their advantages, such as high accuracy and reliability, each method has its drawbacks and limitations, such as high cost, the need for qualified personnel, and difficulties in interpreting the obtained data. Nevertheless, despite these drawbacks, physical methods are currently indispensable for conducting environmental monitoring, thanks to their ability to provide real-time data and high spatial resolution. The use of physical methods to study atmospheric pollution is a key aspect of the successful fight for air and environmental cleanliness.*

**Keywords:** *pollution, atmosphere, spectroscopy, lidar technologies, satellite monitoring, gas analyzers.*

**Введение.** В современном мире существует множество экологических проблем, одной из которых является атмосферное загрязнение атмосферного воздуха. Промышленные предприятия, транспортные средства и множество других источников - приводят к увеличению концентрации вредных веществ в атмосфере, что негативно влияет как на окружающую среду, так и на здоровье людей. Существует множество способов измерить концентрацию загрязняющих веществ в воздухе и спрогнозировать дальнейшую экологическую ситуацию. В данной статье будут рассматриваться современные физические методы изучения загрязнения атмосферы.

Для изучения загрязнения атмосферы стоит рассмотреть такие физические методы как: спектроскопия, лидарные технологии, методы анализа аэрозолей, газоанализаторы и спутниковый мониторинг.

В основе спектрального метода анализа лежат принципы взаимодействия между электромагнитным излучением (светом) и материей. Когда пробу освещают светом, взаимодействие сопровождается излучением, поглощением или рассеиванием с возникновением спектральных линий. Электромагнитный пучок состоит из волн разной длины и частоты, и каждый элемент имеет свои уникальные характеристики длины волны поглощения и эмиссии, уникальный спектр излучения вещества, что связано с атомной и молекулярной структурой, а также энергетическими переходами (рисунок 1). Таким образом, в ходе анализа, например, с использованием методов атомной эмиссионной спектроскопии, атомно-абсорбционной спектроскопии, исследуется образование спектров, изучается состав и идентифицируются химические соединения. При измерении интенсивности спектральных линий определяется содержание и концентрация разных веществ.



**Рисунок 1.** Электромагнитный пучок.

**Figure 1.** Electromagnetic beam.

Спектроскопия обладает высокой точностью для изучения веществ, широко применяется в лабораторных условиях для определения концентрации углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ), оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) и других загрязняющих веществ в воздухе, которые влияют на его качество. Метод идеально подходит, чтобы отслеживать наличие ртути ( $\text{Hg}$ ), свинца ( $\text{Pb}$ ), кадмия ( $\text{Cd}$ ) и других тяжелых металлов.

Лазерное зондирование – один из наиболее надежных и высокоточных методов, используемых сегодня для дистанционного изучения атмосферы. [15] Воздух исследуется на больших расстояниях с помощью лазерных импульсов в спектрах ультрафиолетовых, видимых или инфракрасных волн. Лучи лазера отражаются от частиц и молекул, которые содержатся в атмосфере, они способны выявить даже несколько молекул примесей в огромном числе молекул воздуха на высоте в несколько километров, благодаря измерению задержки времени возвращения лазерного импульса и его спектральных характеристик. В результате лазерного зондирования и с помощью метода анализа обратного рассеяния измерить концентрацию различных загрязнителей, включая аэрозоли, а с применением диодных лазеров наблюдать спектры поглощения для измерения концентрации газов.

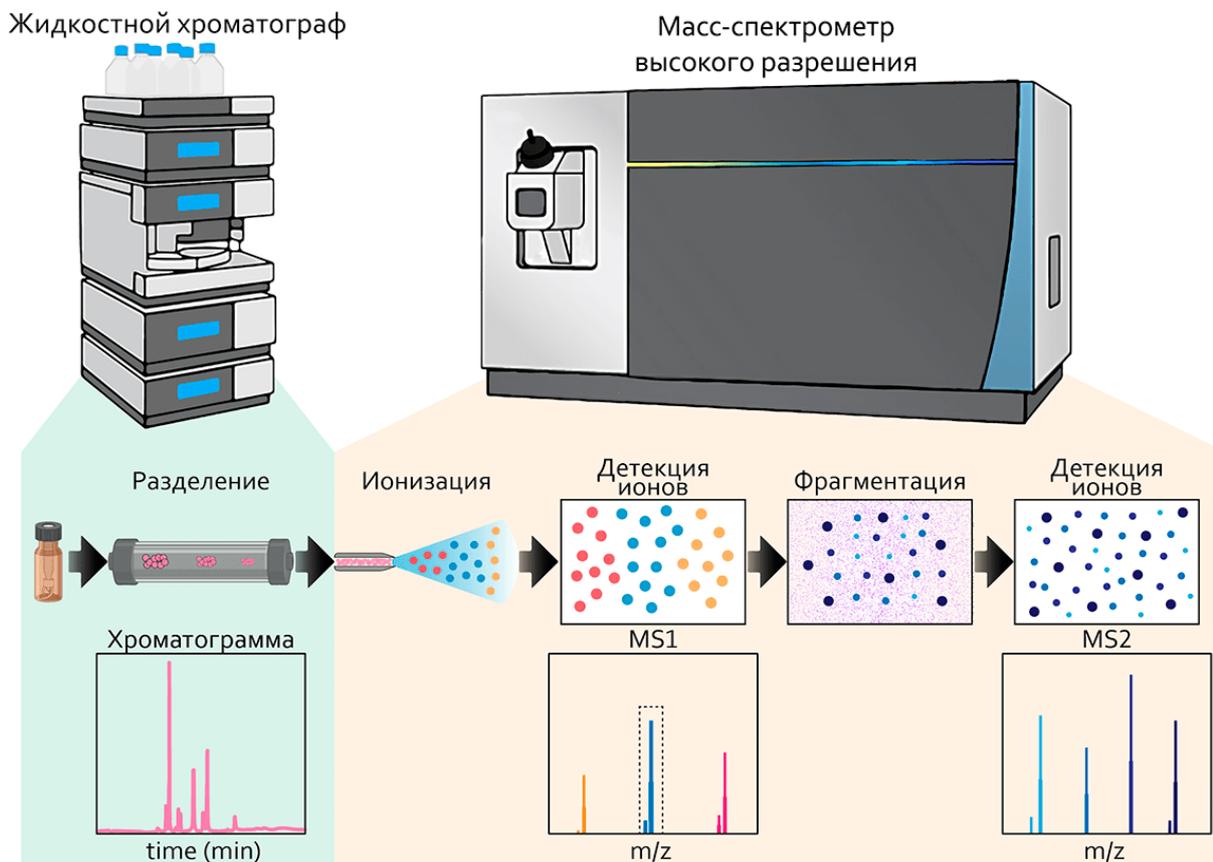
Использование лидарных технологий при проверке уровня загрязненности воздуха, а также при определении концентрации и распределения загрязняющих веществ на промышленных объектах и в городах доказало высокую эффективность, учитывая атмосферную турбулентность и гидрометеорологические условия.

Аэрозольные частицы отличаются способностью адсорбировать на своей поверхности широкий спектр соединений, таких как металлы, газы и пары, диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), аммиак ( $\text{NH}_3$ ), летучие органические соединения (ЛОС) и другие вещества. Исследование аэрозолей помогает определить содержание тяжелых металлов, таких как свинец ( $\text{Pb}$ ), кадмий ( $\text{Cd}$ ), ртуть ( $\text{Hg}$ ) и других химических соединений, нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ), сульфатов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Полученные данные, при исследовании аэрозолей, играют важную роль в контроле качества воздуха в населенных пунктах, в прогнозировании экологических рисков для населения, своевременной разработке и проведению необходимых мероприятий по очистке воздуха, контролю и снижению загрязнений, а также для оценки и минимизации экологических и санитарных рисков для населения.

При проведении анализа измеряются такие параметры, как размер, аэродинамический диаметр, форма (сферичность, пористость) и химический состав аэрозолей. На основе полученных данных можно определить уровень загрязненности атмосферы и ее основные источники.

Применение специальных аналитических устройств (газоанализаторов, спектрометров, хроматографов, масс-спектрометров, электрохимических сенсоров) позволяет с высокой точностью измерить концентрацию или качество определенного газообразного соединения в атмосферном

воздухе (рисунок 2). Выбор оптического, термокондуктометрического, каталитического или электрохимического типа газоанализатора для проведения тестирования зависит от вида газа, его концентрации, температуры, молярной массы и других физико-химических параметров. Некоторые приборы могут определить только одно вещество, другие устройства позволяют определять много параметров.

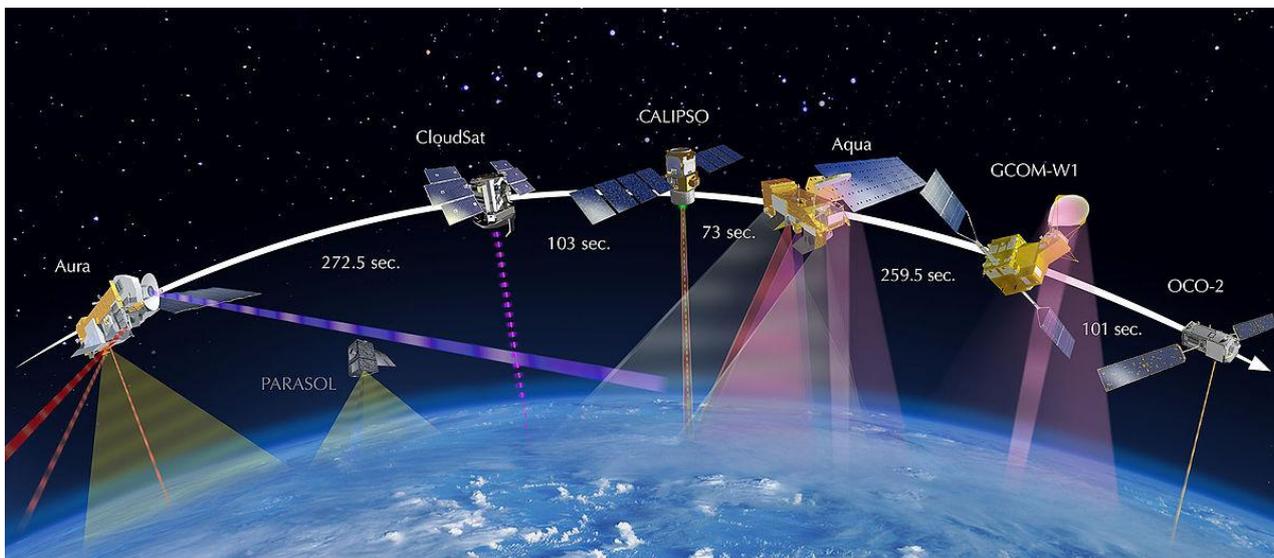


**Рисунок 2.** Применение хроматографа и масс-спектрометра.

**Figure 2.** Application of the chromatograph and mass spectrometer.

Газоанализатор используется для проверки кислорода ( $O_2$ ), угарного газа ( $CO$ ), углекислого газа ( $CO_2$ ), углеводородов ( $C_nH_m$ ), водорода ( $H_2$ ), оксида азота ( $NO$ , с учетом окисления до  $NO_2$ ), гелия ( $He$ ), хлора ( $Cl_2$ ), диоксида серы ( $SO_2$ ), горючих веществ. Устройство применяют во многих отраслях промышленности и населенных пунктах с высоким уровнем загрязненности, чтобы непрерывно мониторить качество воздуха.

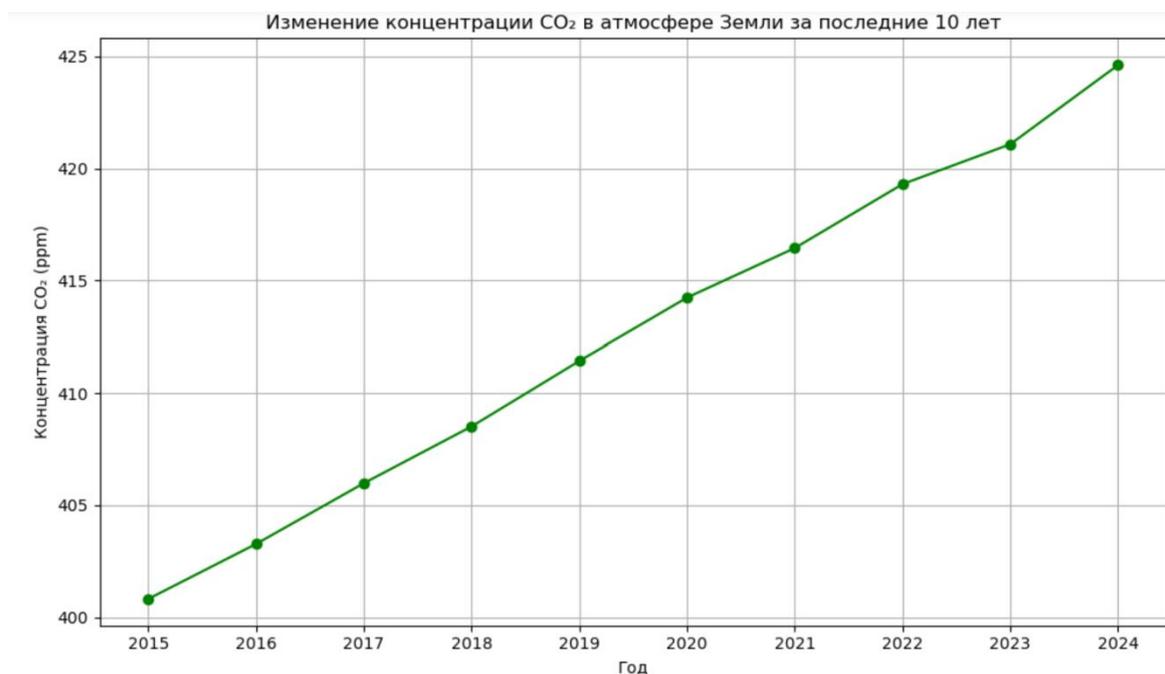
Дистанционное исследование качества воздуха из космоса спутниками NASA, такими как OCO-2, TROPOMI, MODIS позволяет получить информацию о химическом составе атмосферы планеты, содержании и распространенности в ней основных загрязнителей и парниковых газов ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ) над морем и в других районах, где датчики недоступны (рисунок 3).



**Рисунок 3.** Спутники Земли.

**Figure 3.** Earth's Satellites.

Спутники делают замеры концентрации аэрозолей в атмосферном воздухе, наблюдая, какое количество света достигает поверхности Земли и какое количество отражается от аэрозолей. Данный метод анализа позволяет отследить, как распространяются по планете углекислый газ (CO<sub>2</sub>), метан (CH<sub>4</sub>), аэрозоли и другие загрязнители атмосферы.



**Рисунок 4.** Изменение концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере Земли

**Figure 4.** Change in CO<sub>2</sub> concentration in the Earth's atmosphere

Лидарные технологии активно применяются для мониторинга уровня загрязнения воздуха в режиме реального времени. Эти системы позволяют отслеживать выбросы от транспортных потоков и промышленных предприятий, а также используются для изучения атмосферы, мониторинга выбросов, исследования лесных экосистем и оценки последствий природных катастроф, таких как землетрясения, наводнения и оползни. Лидары предоставляют точные данные, которые помогают в принятии решений по улучшению экологической обстановки. Система лидара Шаймпфлюга работает

на длине волны около 808 нм и служит для непрерывного мониторинга атмосферного аэрозоля в дневное время [10]. Лидарные системы также применяются для контроля качества воздуха, определяя степень загрязнения молекулами углеводородов с использованием метода комбинационного рассеяния света [11].

Наземные лидарные сети являются составной частью программы глобальных атмосферных наблюдений Всемирной метеорологической организации (WMO/GAW).

Спектроскопические методы играют важную роль в контроле выбросов вредных газов. Они применяются для определения концентрации парниковых газов, анализа токсичных веществ, изучения аэрозолей и частиц, а также для мониторинга промышленных выбросов и городского воздуха. Например, инфракрасная спектроскопия позволяет точно измерять концентрацию CO<sub>2</sub> и метана в выбросах. Эти методы также используются для исследования вулканических выбросов, обнаружении пламени [2], анализа трансграничного переноса загрязнений и контроля качества воздуха в помещениях. Спектроскопия помогает обеспечивать соблюдение экологических норм и снижать уровень загрязнения на промышленных объектах.

Анализ аэрозолей является важным инструментом для оценки воздействия загрязнений на здоровье человека и климат. Этот метод применяется для изотопного анализа, мониторинга качества воздуха, изучения трансграничного переноса загрязнений и моделирования атмосферных процессов. Существует мировая сеть ARONET, включающая в себя 400 станций, которая регистрирует загрязнения атмосферы аэрозолями [6]. Например, после извержения вулканов проводится анализ состава аэрозолей, чтобы оценить их влияние на атмосферу и климат. Также анализ аэрозолей используется для оценки эффективности мер по снижению загрязнения, например, после введения ограничений на выбросы.

Газоанализаторы широко применяются для контроля выбросов и мониторинга качества воздуха. Они устанавливаются на промышленных объектах для измерения концентрации вредных газов, таких как CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и CH<sub>4</sub>. Газовые датчики обнаруживают газы в окружающей среде и летучие органические соединения в дыхании для мониторинга окружающей среды [3]. Газоанализаторы также используются для предупреждения аварий на производствах, контроля выбросов от свалок, обнаружения утечек газа и изучения состава атмосферы. В зонах катастроф эти устройства помогают обнаруживать опасные газы, что способствует оперативному реагированию и минимизации последствий.

Спутниковый мониторинг является мощным инструментом для наблюдения за экологической обстановкой в глобальном масштабе. Спутники позволяют отслеживать выбросы вредных веществ, таких как диоксид серы (SO<sub>2</sub>), оксиды азота (NO<sub>x</sub>) и углекислый газ (CO<sub>2</sub>), от промышленных объектов, включая электростанции, металлургические заводы и нефтеперерабатывающие комплексы. Этот метод также применяется для наблюдения за лесными пожарами, вулканической активностью, пыльными бурями и долгосрочными изменениями климата. Спутниковые данные используются для прогнозирования уровней загрязнений поверхности твердыми частицами с точностью 30% [8]. Спутниковый мониторинг помогает оценивать качество воздуха в городах и обнаруживать утечки метана, что способствует более эффективному управлению экологическими рисками (рисунок 5).



**Рисунок 5.** Обнаружение выбросов метана в Ливии

**Figure 5.** Detection of methane emissions in Libya

Методы лазерного зондирования атмосферы (далее ЛЗА) или лидарные технологии обладают рядом преимуществ в изучении загрязнении атмосферы. Они обладают высоким пространственным разрешением, дальностью действия, возможностью непрерывного контроля [6], возможностью трехмерного обнаружения аэрозолей [7] и отслеживания быстро меняющихся параметров, а также универсальностью. Однако метеолидары имеют свои ограничения, в частности, определенные погодные условия [4]. В некотором роде, погода является “слепой зоной”, что оказывает свой эффект на них [13]. Особенное влияние можно проследить в условиях интенсивной облачности, туманов и осадков. Дальность действия лидаров при этом ограничивается прямой видимостью. Как решение, можно разработать такие метеокомплексы, объединяющие оптические и радиочастотные диапазоны. Это позволит получать данные о скорости ветра и плотности атмосферных образований в более широких диапазонах атмосферных условий (температура, влажность, давление, ветер, осадки). Также как в качестве недостатка может быть дороговизна оборудования, ведь техническое обеспечение требует специфического обслуживания, и сложность обработки данных.

Преимущества такого метода, как спектроскопия состоят в относительной высокой чувствительности [1] и специфичности на определенные молекулы в атмосферы [12], что позволяет обнаруживать и детектировать самые низкие концентрации газов в атмосфере. Как ограничение при спектроскопии можно выделить его зависимость от условий окружающей среды, например, облачность, высокая влажность или запыленность. Также есть необходимость в применении сложного оборудования, что повышает стоимость этого метода, а также квалифицированный персонал для обработки данных. Как решение, можно использовать алгоритмы машинного обучения и численное моделирование.

Метод анализа аэрозолей и газоанализаторы обладают рядом преимуществ. Можно определить подробный химический анализ позволяет определить отдельные частицы аэрозоля в атмосфере [14]. Также как уже было сказано про высокую чувствительность и специфичность к определенным молекулам, эти два метода также обладают этими плюсами. Кроме того, автоматизированные системы для оценки определенных частиц помогают в стратегиях контроля загрязнения. Есть некоторые сложности в достижении достоверно правильных результатов. Из-за изменений в аэрозольных свойствах, например, состав и форма, приборы могут выдавать неоднозначные или ложные интерпретации [9].

Широкий пространственный охват и интеграция со статическими лабораториями с Земли являются непосредственными плюсами спутникового мониторинга атмосферных явлений и тенденций загрязнений [5]. Но данные, полученные таким методом, могут не иметь точного пространственного разрешения, необходимого для детального анализа локального загрязнения, который может быть дополнен уже наземными методами, описанные выше в статье.

Спектроскопия, лидарные технологии, газоанализаторы, анализ аэрозолей и спутниковый мониторинг - физические методы, играющие ключевую роль в изучении загрязнения атмосферы. С их помощью можно точно измерять концентрацию загрязняющих веществ, отслеживать их распространение и прогнозировать экологическую ситуацию. Каждый из методов имеет преимущества и недостатки, поэтому их комбинирование поможет значительно повысить эффективность мониторинга. В будущем интеграция данных с различных источников позволит создавать более точные модели, что поможет разработать эффективные меры по снижению загрязнения атмосферы.

#### Список использованных источников

1. Арефьев В.Н., Кашин Ф.В., Акименко Р.М., Баранов Ю.И., Бугрим Г.И., Вишератин К.Н., Кальсин А.В., Каменоградский Н.Е., Сизов Н.И., Устинов В.П., Упэнэк Л.Б. Исследования в области атмосферной спектроскопии. – 20 с.
2. Bacsik Z., Mink J., & Keresztury G. FTIR Spectroscopy of the Atmosphere Part 2. Applications // Applied Spectroscopy Reviews. – 2005. – Vol. 40. – P. 327-390. – DOI:10.1080/05704920500230906
3. Banga I., Paul A., Poudyal D., Muthukumar S., & Prasad S. Recent Advances in Gas Detection Methodologies with a Special Focus on Environmental Sensing and Health Monitoring Applications—A Critical Review. // ACS sensors. – 2023. – Vol. 8, № 9. – P. 3307–3319. – DOI: 10.1021/acssensors.3c00959
4. Борейшо А.С., Ким А.А., Коняев М.А., Лугиня В.С., Морозов А.В., Орлов А.Е. Современные лидарные средства дистанционного зондирования атмосферы // Фотоника. – 2019. – №7 (13). – С.648-657.
5. Dolgii S., Nevzorov A., Nevzorov A., Romanovskii O., & Kharchenko O. Comparison of ozone vertical profiles in the upper troposphere–stratosphere measured over Tomsk, Russia (56.5° N, 85.0° E) with DIAL, MLS, and IAS // International Journal of Remote Sensing. – 2020. – Vol. 41. – P. 8590–8609. – DOI: 10.1080/01431161.2020.1782506
6. Иванов А. Лазерное (лидарное) зондирование атмосферы в Беларуси // Наука и инновации. – 2021. – №4 (218). – С. 69-74.
7. Kuang Z., Liu D., Wu D., Wang Z., Li C., & Deng Q. Parameter Optimization and Development of Mini Infrared Lidar for Atmospheric Three-Dimensional Detection // Sensors (Basel, Switzerland). – 2023. – Vol. 23. – 892 p. – DOI: 10.3390/s23020892
8. Li C., Hsu N., & Tsay S. A study on the potential applications of satellite data in air quality monitoring and forecasting. // Atmospheric Environment. – 2011. – Vol. 45. – P. 3663–3675. – DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.04.032
9. McMurry P. A review of atmospheric aerosol measurements // Atmospheric Environment. – 2000. – Vol. 34. – P. 1959–1999. – DOI: 10.1016/S1352-2310(99)00455-0
10. Mei L., & Brydegaard M. Atmospheric aerosol monitoring by an elastic Scheimpflug lidar system // Optics express. – 2015. – Vol. 23. – P. A1613–A1628. – DOI: 10.1364/oe.23.0a1613

11. Привалов В. Лидар. На пути к цифровому прибору // Фотоника. – 2014. – №6 (48). – С. 30-39.
12. Svanberg S. Atmospheric Pollution Monitoring Using Laser Lidars // Springer Nature. – 1990. – P. 3–13.
13. Yin Z., Chen Q., Yi Y., Bu Z., Wang L., & Wang X. Low Blind Zone Atmospheric Lidar Based on Fiber Bundle Receiving // Remote. Sens. – 2023. – Vol. 15. – P. 4643. – DOI: 10.3390/rs15194643
14. Yoo H., Lee H., Park C., Shin D., & Ro C. Novel Single-Particle Analytical Technique for Submicron Atmospheric Aerosols: Combined Use of Dark-Field Scattering and Surface-Enhanced Raman Spectroscopy // Analytical chemistry. – 2022. – Vol. 94, № 38. – P. 13028–13035. – DOI: 10.1021/acs.analchem.2c01696
15. Алексеенко Н.Н. Применение технологии лазерного сканирования в различных отраслях и на различных этапах жизненного цикла объектов // Вестник МГСУ. – 2016 – №2. – С.62-73

#### Reference

1. Arefyev V.N., Kashin F.V., Akimenko R.M., Baranov Yu.I., Bugrim G.I., Visheratin K.N., Kalsin A.V., Kamengradsky N.E., Sizov N.I., Ustinov V.P., Upeneck L.B. Research in the field of atmospheric spectroscopy. – 20 p.
2. Bacsik Z., Mink J., & Keresztury G. FTIR Spectroscopy of the Atmosphere Part 2. Applications // Applied Spectroscopy Reviews. – 2005. – Vol. 40. – P. 327-390. – DOI:10.1080/05704920500230906
3. Banga I., Paul A., Poudyal D., Muthukumar S., & Prasad S. Recent Advances in Gas Detection Methodologies with a Special Focus on Environmental Sensing and Health Monitoring Applications—A Critical Review. // ACS sensors. – 2023. – Vol. 8, № 9. – P. 3307–3319. – DOI: 10.1021/acssensors.3c00959
4. Boreysho A.S., Kim A.A., Konyaev M.A., Luginya V.S., Morozov A.V., Orlov A.E. Modern lidar remote sensing systems for atmospheric monitoring // Photonics. – 2019. – No. 7 (13). – P. 648-657.
5. Dolgii S., Nevzorov A., Nevzorov A., Romanovskii O., & Kharchenko O. Comparison of ozone vertical profiles in the upper troposphere–stratosphere measured over Tomsk, Russia (56.5° N, 85.0° E) with DIAL, MLS, and IAS // International Journal of Remote Sensing. – 2020. – Vol. 41. – P. 8590–8609. – DOI: 10.1080/01431161.2020.1782506
6. Ivanov A. Laser (Lidar) Remote Sensing of the Atmosphere in Belarus // Science and Innovations. – 2021. – No. 4 (218). – Pp. 69-74.
7. Kuang Z., Liu D., Wu D., Wang Z., Li C., & Deng Q. Optimización de parámetros y desarrollo de mini lidar infrarrojo para detección tridimensional atmosférica // Sensores (Basilea, Suiza). – 2023. – Vol. 23. – 892 p. – DOI: 10.3390/s23020892
8. Li C., Hsu N., & Tsay S. Un estudio sobre las posibles aplicaciones de los datos satelitales en el monitoreo y pronóstico de la calidad del aire. // Atmospheric Environment. – 2011. – Vol. 45. – P. 3663–3675. – DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.04.032
9. McMurry P. A review of atmospheric aerosol measurements // Atmospheric Environment. – 2000. – Vol. 34. – P. 1959–1999. – DOI: 10.1016/S1352-2310(99)00455-0
10. Mei L., & Brydegaard M. Atmospheric aerosol monitoring by an elastic Scheimpflug lidar system // Optics express. – 2015. – Vol. 23. – P. A1613–A1628. – DOI: 10.1364/oe.23.0a1613
11. Privalov V. Lidar. On the Path to a Digital Device // Photonics. – 2014. – No. 6 (48). – Pp. 30-39.
12. Svanberg S. Atmospheric Pollution Monitoring Using Laser Lidars // Springer Nature. – 1990. – P. 3–13.
13. Yin Z., Chen Q., Yi Y., Bu Z., Wang L., & Wang X. Low Blind Zone Atmospheric Lidar Based on Fiber Bundle Receiving // Remote. Sens. – 2023. – Vol. 15. – P. 4643. – DOI: 10.3390/rs15194643
14. Yoo H., Lee H., Park C., Shin D., & Ro C. Novel Single-Particle Analytical Technique for Submicron Atmospheric Aerosols: Combined Use of Dark-Field Scattering and Surface-Enhanced Raman Spectroscopy // Analytical Chemistry. – 2022. – Vol. 94, No. 38. – P. 13028–13035. – DOI: 10.1021/acs.analchem.2c01696
15. Alekseenko N.N. Application of laser scanning technology in various industries and at different stages of the life cycle of objects // Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering. – 2016 – No. 2. – P. 62-73

**Kolbina Olga Nikolaevna**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Department of Applied Informatics, Russian State Hydrometeorological University  
Saint-Petersburg

E-mail: [olya\\_kolbina@mail.ru](mailto:olya_kolbina@mail.ru)

**Bernikov Artyom Dmitrievich**

student of the Institute of Information Systems and Geotechnology,  
Russian State Hydrometeorological University  
Saint-Petersburg

E-mail: [FrigatDernik@yandex.ru](mailto:FrigatDernik@yandex.ru)

**Sluzheva Margarita Ivanovna**

student of the Institute of Information Systems and Geotechnology,  
Russian State Hydrometeorological University  
Saint-Petersburg

E-mail: [mssluzheva@mail.ru](mailto:mssluzheva@mail.ru)

**Punkevich Dana Markovna**

student of the Institute of Information Systems and Geotechnology,  
Russian State Hydrometeorological University  
Saint-Petersburg

E-mail: [Punkevichdana@gmail.com](mailto:Punkevichdana@gmail.com)

**Lazareva Vera Dmitrievna**

student of the Institute of Information Systems and Geotechnology,  
Russian State Hydrometeorological University  
Saint-Petersburg

E-mail: [lazver24@gmail.com](mailto:lazver24@gmail.com)

## ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕСОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

**Гайфуллин Ильдар Ильфатович**

Эксперт лесного хозяйства

ООО «Метро кэш энд Керри»,

Санкт-Петербург

E-mail: [pimenta.spb@icloud.com](mailto:pimenta.spb@icloud.com)

**Аннотация.** Представлено исследование, посвященное анализу распространения короеда-типографа в Ленинградской области. Целью работы является выявление основных факторов, способствующих вспышкам численности вредителя, и разработка рекомендаций по сдерживанию его распространения и сохранению лесных насаждений. В ходе исследования установлено, что ключевым фактором риска является наличие старовозрастных еловых насаждений, ослабленных антропогенным воздействием (в частности, выборочными рубками) и болезнями леса. Благоприятные погодные условия также способствуют увеличению численности вредителя. Предложены меры, направленные на оперативное выявление и удаление пораженных деревьев, своевременную очистку мест рубок и взвешенный подход к назначению санитарных рубок, учитывающий необходимость сохранения устойчивости лесных насаждений. Полученные результаты могут быть использованы для разработки эффективных стратегий лесозащиты и обеспечения устойчивого развития лесного хозяйства региона.

**Ключевые слова:** Ветровал, государственный лесопатологический мониторинг, категория состояния насаждений, отпад, очаг вредных организмов.

### **FOREST PATHOLOGICAL STATE OF FORESTS IN LENINGRAD REGION**

**Abstract.** A study is presented to analyze the spread of bark beetle-typograph in the Leningrad Region. The aim of the work is to identify the main factors contributing to the outbreaks of the pest and to develop recommendations for curbing its spread and preserving forest plantations. The study found that the key risk factor is the presence of old-growth spruce stands weakened by anthropogenic impact (in particular, thinning) and forest diseases. Favorable weather conditions also contribute to the increase in the pest population. We propose measures aimed at prompt identification and removal of affected trees, timely cleaning of harvesting sites and a balanced approach to the appointment of sanitary cuttings, taking into account the need to preserve the sustainability of forest stands. The results obtained can be used to develop effective forest protection strategies and ensure sustainable development of forestry in the region.

**Keywords:** Windfall, state forest pathology monitoring, category of plantation condition, fall, pest center.

**Введение.** На санитарное состояние лесов Ленинградской области ежегодно оказывают влияние различные неблагоприятные факторы биотического и абиотического характера, которые приводят к нарушению или утрате биологической устойчивости насаждений. При нарушении биологической устойчивости древостои могут оставаться жизнеспособными и продолжать выполнять свои функции (например, защитные полосы). Если процесс деградации необратим - насаждения утрачивают биологическую устойчивость и считаются погибшими.

Санитарное состояние насаждения характеризуется наличием отпада (присутствие усыхающих, усохших, ветровальных и буреломных деревьев). Отпад подразделяется на текущий и общий. Текущий отпад составляют деревья, погибшие за последний год, и те, которые усохнут в следующем году, а также свежий ветровал и бурелом. Нормальным (естественным) считается отпад менее 4%.

Если в лесонасаждении деревья, относящиеся к IV-V категориям состояния, свежий ветровал и бурелом составляют до 10% от запаса древостоя, то усыхание относится к слабой степени, при 10,1-40% - усыхание средней степени, а при отпаде более 40% - усыхание является высоким.

К насаждениям, утратившим биологическую устойчивость (или погибшим насаждениям) относятся древостои, выявленные в отчётном году, в которых по их состоянию требуется проведение сплошных санитарных рубок (средневзвешенная категория состояния более 4,50 или полнота после уборки всех деревьев, подлежащих рубке, ниже критической). К насаждениям с нарушенной устойчивостью (ослабленным) относятся древостои, с наличием повышенного отпада и со средневзвешенной категорией состояния 1,51-4,50.

**Санитарное состояние Ленинградской области.** Сведения о площадях повреждённых и погибших насаждений в разрезе лесничеств по данным отчёта 1-ОЛПМ, реестра УПП и данных субъекта из 10-ОИП за 2024 год представлены в таблице 1

Здоровые леса поддерживают экосистемное равновесие, обеспечивая среду обитания для множества видов. Болезни и вредители могут нарушать эту систему, приводя к вымиранию отдельных видов. В последние десятилетия ряд специалистов занимаются отдельным изучением пространственной динамики состояния и комплексов болезней и вредителей таежных лесов северо-запада европейской части России и других регионов. [1-3]

Проблема изменения климата в краткосрочной и долгосрочной перспективе ставит ряд задач, направленных на оперативное выявление очагов размножения вредителей при помощи дистанционных методов, которые так же применяют ряд исследователей. [4-6]

Немаловажным является факт развития технологий искусственного интеллекта и возможностей его применения для геоэкологических задач, социальных исследований и анализа больших данных, в том числе для задач связанных с обработкой динамики численности различных вредителей. [7,8]

**Таблица 1–** Распределение участков лесных насаждений с неудовлетворительным санитарным состоянием по величине усыхания на конец 2024 года

Лесничество	Площадь насаждений с наличием усыхания на конец отчётного года по данным ГЛПМ, га					В том числе, погибших, оставшихся на корню, на конец отчётного года, га*		Насаждения, погибшие за отчётный год, га	
	всего	в том числе по степени усыхания				по данным сводного реестра УПП	по форме 10-ОИП	по данным сводного реестра УПП	по форме 10-ОИП
		≤ 4%	4,1-10%	10,1-40%	> 40%				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Бокситогорское	29,00				29,00	29,00	28,70		
Волосовское	221,11 1			130,4	90,711	83,21	73,96		16,50
Волховское	12,90			6,20	6,70	0,00			
Всеволожское	629,79			113,26	516,53	54,83	50,57	5,20	0,75
Гатчинское	269,53			235,43	34,10	6,00	2,00	0,10	0,10
Кингисеппское	51,50			47,20	4,30	4,30	1,40		
Киришское	57,90			51,40	6,50	6,40	0,80		
Кировское	7,90			2,70	5,20	5,20	0,30	5,20	0,30
Лодейнопольское	283,23			262,50	20,73	14,80	5,84		
Ломоносовское	201,34			175,90	25,44	17,74	3,44		

Лужское	338,05			264,66	73,39	54,34	17,64	26,30	
Любанское	175,6			145,80	29,80	23,50			
Подпорожское	257,15			148,50	108,65	36,90	3,80		
Приозерское	2137,9 02			1232,9 6	904,94 2	533,71	518,16	129,802	193,20
Рощинское	2909,9 9			1328,6 5	1581,3 4	885,04	544,24	206,30	145,80
Северо-Западное	2343,3 8			1579,9 7	763,41	329,14	154,94	118,60	125,40
Сланцевское	44,25			27,20	17,05	10,15	15,15		
Тихвинское	63,20			56,80	6,40	2,25	2,45		
Учебно-опытное	20,08			18,10	1,98	1,68	0,88	0,78	0,38
<b>Всего</b>	<b>10053,8</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>5827,63</b>	<b>4226,17</b>	<b>2098,191</b>	<b>1424,27</b>	<b>492,282</b>	<b>482,43</b>

Больше всего повреждённых и погибших насаждений, оставшихся на корню на конец 2024 года в Рощинском лесничестве – 28,95% и 42,18% соответственно от общей площади лесных участков с неудовлетворительным состоянием. В меньшей степени, но значительные объёмы повреждённых насаждений в Приозерском, Северо-Западном лесничествах - по 21,26-23,31% от общей площади лесов с неудовлетворительным санитарным состоянием, оставшихся на корню. При этом в Приозерском лесничестве наибольшие объёмы выявленных в отчётном году погибших насаждений, они составляют 41,91% от всего объёма выявленных участков с утраченной биологической устойчивостью.

Сведения о площадях лесных участков с неудовлетворительным санитарным состоянием, распределённых по величине усыхания и причинам их ослабления и гибели за 2024 год представлены в таблице 2.

**Таблица 2–** Распределение участков лесных насаждений с неудовлетворительным санитарным состоянием по величине усыхания и причинам их ослабления и гибели на конец 2024 года

Причина ослабления (гибели) насаждений	Площадь насаждений с наличием усыхания на конец года по данным ГЛПМ, га					В том числе погибших, оставшихся на корню на конец отчётного года, га*		Насаждения, погибшие за отчётный год, га	
	всего	в том числе по степени усыхания				по данным сводного реестра УПП	по данным формы 10-ОИП	по данным сводного реестра УПП	по данным формы 10-ОИП
		≤ 4%	4,1-10%	10,1-40%	> 40%				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Лесные пожары	71,95			8,24	63,71	53,511	34,58	12,50	
в том числе текущего года									
Повреждения насекомыми	6884,81			3544,90	3339,91	1529,58	922,77	456,38	456,53
Неблагоприятные погодные условия и почвенно-	2469,750			1741,83	727,92	457,27	409,19	19,20	25,70

климатические факторы									
Болезни леса	348,19			306,46	41,73	9,23	50,33		
Повреждения дикими животными	2,80			2,10	0,70	0,70	0,70		
Антропогенные факторы	205,20			153,00	52,20	47,90	6,70	4,20	0,20
в том числе промышленные выбросы									
Непатогенные факторы	71,10			71,10					
<b>Всего</b>	<b>10053,8</b>	<b>0,00</b>	<b>0,0</b>	<b>5827,6</b>	<b>4226,1</b>	<b>2098,19</b>	<b>1424,2</b>	<b>492,282</b>	<b>482,43</b>

В 2024 году, как и в прошлые годы, наибольший вред лесным насаждениям Ленинградской области нанесли последствия повреждений от насекомых, неблагоприятные погодные условия и почвенно-климатические факторы. В совокупности, эти факторы привели к массовому усыханию древостоев, что, в свою очередь, увеличило площадь лесов, поврежденных стволовыми вредителями, популяции которых быстро распространяются при наличии подходящей кормовой базы и благоприятных погодных условиях. Расхождения данных ГЛПМ с данными 10-ОИП объясняются разными подходами к учёту информации. В отчёты субъекта включаются только участки, на которых проведены лесопатологические обследования после утверждения соответствующих актов ЛПО. В реестры ГЛПМ, согласно инструкции, вносится как информация по результатам актов лесопатологических обследований, предоставленных ОИВ в адрес Филиала, так и площади погибших и повреждённых насаждений, выявленные в ходе наземных наблюдений (ВНН) в рамках ГЛПМ.

Данные распределения площади насаждений лесничеств с неудовлетворительным санитарным состоянием по причинам ослабления и гибели на конец отчётного года в разрезе лесничеств, представлены в таблице 2.1.3 (по форме УПП-свод).

**Таблица 3 – Распределение участков лесных насаждений с неудовлетворительным санитарным состоянием на конец 2024 года**

Лесничество	Всего насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью, га	в том числе по причинам ослабления и гибели, га							
		лесные пожары	повреждение насекомыми	неблагоприятные погодные условия и почвенно-климатические факторы	болезни леса	повреждение дикими животными	антропогенные факторы		непатогенные факторы
							всего	в том числе промышленные выбросы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Бокситогорское	29,00			29,00					
Волосовское	221,111	31,021	103,14	71,55			15,40		
Волховское	12,90		6,20	6,70					
Всеволожское	629,79	1,80	545,22	49,17	20,20		13,40		

Гатчинское	269,53	0,10	196,93	14,10	58,40				
Кингисеппское	51,50	2,80		28,70			20,00		
Киришское	57,90		3,60	42,00	0,70				11,60
Кировское	7,90	0,30	4,30	3,30					
Лодейнопольское	283,23		7,10	195,43	80,00	0,70			
Ломоносовское	201,34	2,60	153,14	42,50			3,10		
Лужское	338,05	17,70	16,84	170,45	76,26		56,80		
Любанское	175,60		0,30	120,30			55,00		
Подпорожское	257,15		2,30	211,95	42,90				
Приозерское	2137,902		1174,802	898,10	27,80		37,20		
Рощинское	2909,99	1,40	2823,79	78,37	5,53		0,90		
Северо-Западное	2343,38	10,43	1837,32	422,33	36,40		3,40		33,50
Сланцевское	44,25	1,30	0,95	42,00					
Тихвинское	63,20			37,20					26,00
Учебно-опытное	20,08	2,50	8,88	6,60		2,10			
<b>Всего</b>	<b>10053,8</b>	<b>71,95</b>	<b>6884,81</b>	<b>2469,75</b>	<b>348,1</b>	<b>2,80</b>	<b>205,2</b>		<b>71,1</b>

В последние года наибольшие площади насаждений, повреждённых стволовыми вредителями наблюдаются – в Приозерском, Рощинском и Северо-Западном лесничествах. Неблагоприятные погодные условия и почвенно-климатические факторы, в большей степени воздействуют в Приозерском и Северо-Западном лесничествах. В этих же лесничествах наихудшим образом проявилось воздействие на леса насекомых-вредителей, что вероятно взаимосвязано. Влияние других повреждающих факторов в лесах Ленинградской области незначительно.

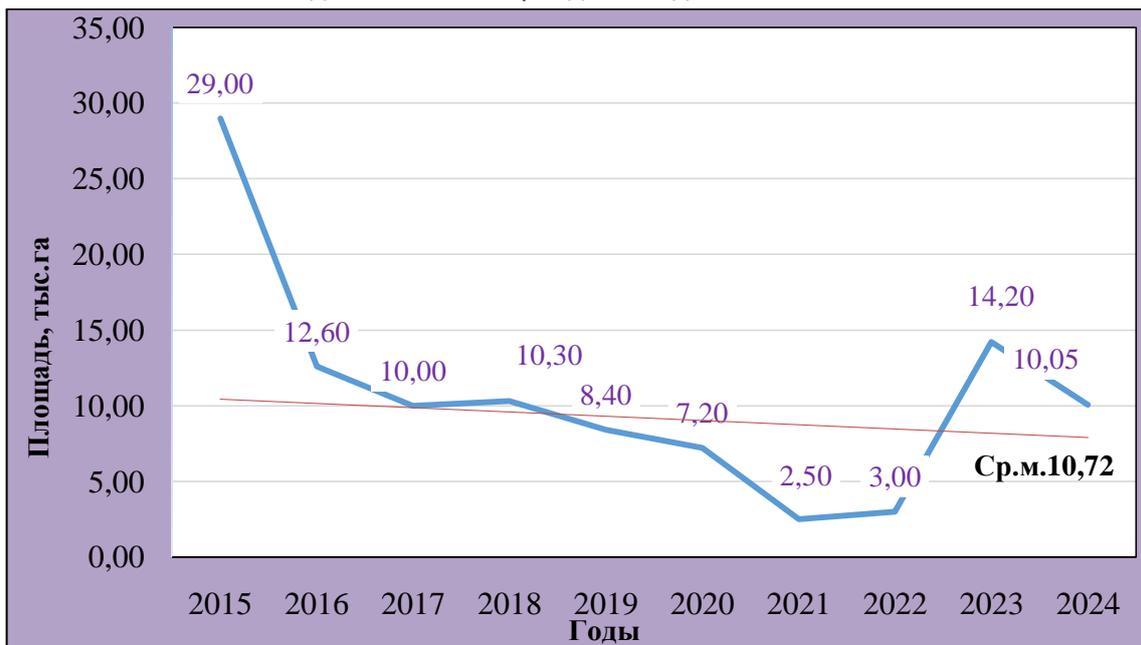
Больше всего разработано погибших насаждений за 2024 год во Всеволожском лесничестве (74,36% от общего объёма ССР), все СОМ были проведены за счет средств лесопользователей и иных источников. В связи с этим не предоставлена информация бюджетных проектировок в разрезе лесничеств. При этом в целом по региону, объём проведённых мероприятий явно недостаточен, что может привести к дальнейшему ухудшению санитарного и лесопатологического состояния в лесах Ленинградской области.

Основной причиной увеличение площадей гибели насаждений в отчетном году является стволовые вредители. Заселяются стволовыми вредителями, как правило, уже ослабленные насаждения. С учётом того, что в Ленинградской области многие насаждения ослаблены болезнями, условия для развития очагов стволовых вредителей благоприятные. Стволовых вредителей всегда развиваются в несвоевременно разработанных насаждениях, поврежденных ветровалами и климатическими факторами.

Погодные условия, в том числе – ураганные ветровалы, так же являются причиной неудовлетворительного состояния насаждений. Часть деревьев устоявших во время прохождения ураганных ветровалов, были повреждены в результате ветровой нагрузки, имели надрыв корневой системы, наклон и изгиб стволов, облом ветвей и сучьев. В таких насаждениях в последующие годы, продолжался интенсивный вывал деревьев.

Погибшие лесные насаждения, расположенные на землях лесного фонда, загрязнённых радионуклидами, за 2024 год отсутствуют, поэтому данные о разработке лесничествами таких участков не представлены.

На рисунках 1 и 2 представлены данные о площадях насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью и погибших за десятилетний период наблюдений.

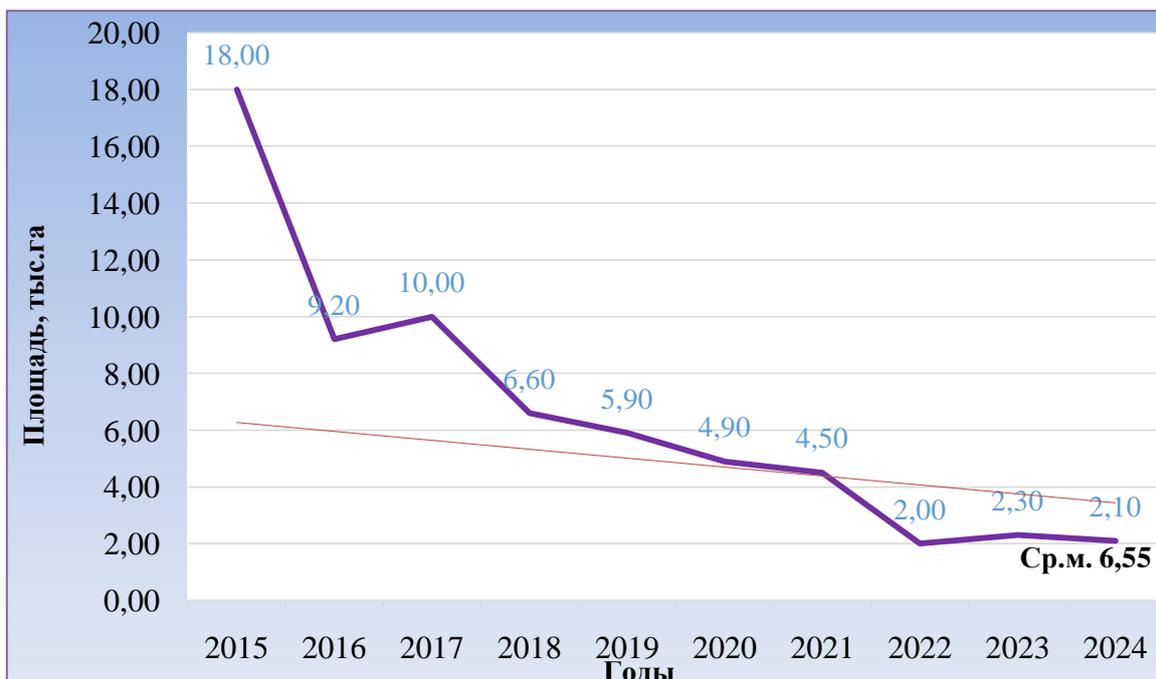


**Рисунок 1.** Площади участков насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью по субъекту Российской Федерации за последние десять лет и среднемноголетнее значение этого показателя за имеющийся период наблюдений

**Figure 1.** Areas of plantings with damaged and lost stability in the constituent entity of the Russian Federation over the past ten years and the average long-term value of this indicator for the existing observation period

Из графика на рисунке 2.1.1 видно, что максимальная площадь насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью за отслеживаемый период времени была в 2015 году и в последующие годы постоянно снижалась. В 2021 году площадь насаждений минимальная. В 2023 году выявлено увеличение площади, причиной этому является рост численности вредителей, в связи с благоприятными погодными условиями текущего года для их развития. В отчетном году рост численности снизился. Следует отметить, что такое уменьшение площади, кроме естественных причин и проведенных рубок, связано также и с приведением базы данных государственного лесопатологического мониторинга в соответствие с новыми нормативно-правовыми актами. В результате проведенной актуализации реестров УПП и МЗЛ, данные лесничеств из актов и других источников, без указания степени повреждения насаждений и прочих показателей, с устаревшими данными, - перенесены в категорию «предположительно поврежденные насаждения» Таблицы 3, являющейся частью БД ГЛПМ.

Среднемноголетнее значение площади насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью за отслеживаемый период – 10,72 тыс. га.

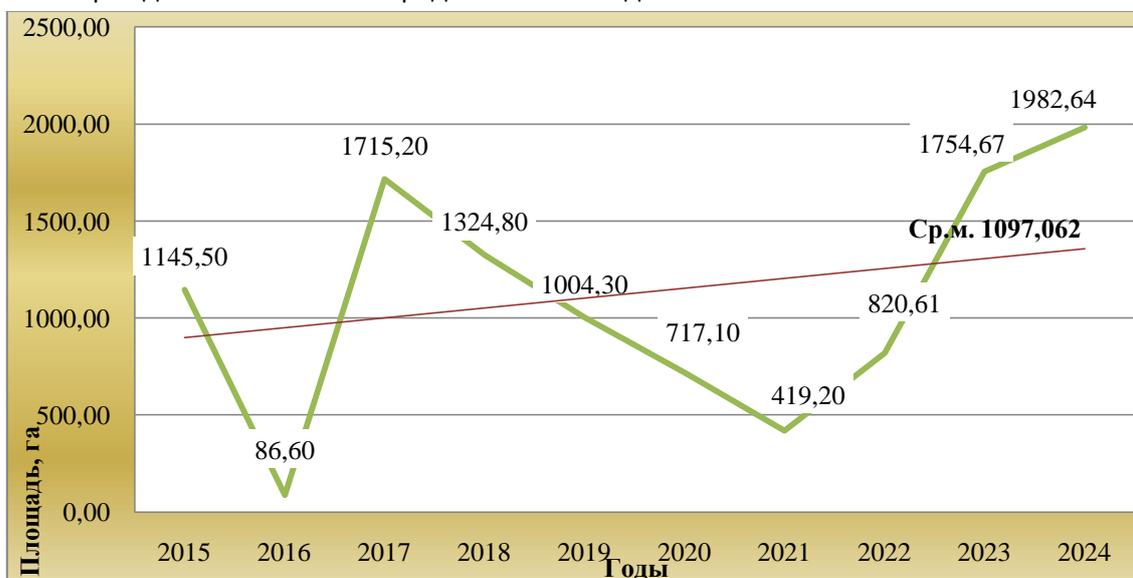


**Рисунок 2.** Площади участков погибших насаждений Ленинградской области за последние десять лет

**Figure 2.** Areas of plots of perished plantings in the Leningrad region over the past ten years

Площадь погибших насаждений в 2015 году самая высокая за десятилетний период (рисунок 2). Причиной этому стали ветра ураганной силы, приведшие к образованию ветровалов. В последующие годы наблюдается снижение площади погибших насаждений и в 2022 году самая низкая гибель за отслеживаемый период времени. На конец отчётного года площадь погибших насаждений значительно ниже среднего значения.

На рисунке 3 показано состояние насаждений по состоянию на конец 2024 года в зависимости от степени повреждения стволовыми вредителями по годам.



**Рисунок 3.** Площади участков лесных насаждений, погибших от повреждения насекомыми-вредителями

**Figure 3.** Areas of forest plantations damaged by insect pests

Согласно диаграмме на рисунке 3, наибольшая площадь погибших от насекомых-вредителей насаждений - в отчётном году. Среднемноголетнее значение площади насаждений, утративших жизнеспособность от данного фактора – 1097,062 га.

Близкие к максимальному, объёмы гибели лесов от насекомых наблюдались также в 2023 и 2017 годах рассматриваемого 10-летнего периода. Вероятно, это связано с благоприятными погодными условиями для заселения стволовыми вредителями.

Развитию насекомых, в основном в лесничествах Карельского перешейка, способствовало накопление ослабленных спелых и перестойных чистых ельников, пораженных болезнями, пройденных выборочными рубками, а также участков леса, расположенных вдоль введенных в действие в последние годы и строящихся трасс автомагистралей.

**Выводы.** В Ленинградской области очаги короеда-типографа особенно часто возникают в старовозрастных еловых насаждениях, таких как спелые и перестойные чистые ельники. В этих насаждениях первичными факторами, ослабляющими деревья, являются антропогенные воздействия и болезни леса. Неправильное проведение рубок, приводящее к изреживанию насаждений ниже нормальной густоты для данного местопроизрастания, увеличение периметра опушек и чересполосные рубки, способствуют увеличению освещенности, нарушению естественной лесной среды и, как следствие, ослаблению еловых древостоев. Среди болезней леса основную негативную роль играют хронические формы грибных заболеваний, в частности, корневая губка.

Погодные условия зимы 2024 года оказались достаточно благоприятными для развития первого поколения короеда-типографа, поскольку высокий снежный покров обеспечил надежную защиту вредителя от воздействия низких температур. К сожалению, в ближайшие годы сохранится негативное влияние первичных факторов, ослабляющих лесные насаждения, а именно замедление разработки поврежденных насаждений и запрет на проведение сплошных рубок в защитных лесах, где накопились спелые и перестойные чистые ельники, наиболее уязвимые к антропогенным факторам (в частности, к выборочным рубкам).

Динамика площадей очагов короеда-типографа будет определяться как погодноклиматическими условиями, так и оперативностью проведения лесозащитных мероприятий. Учитывая благоприятные условия лета 2024 года для развития стволовых вредителей, существует повышенная вероятность возникновения новых очагов. Если текущая весна также окажется благоприятной для развития насекомых, то не исключено увеличение численности короеда-типографа в лесных насаждениях. В 2025 году на территории Ленинградской области вероятно формирование локальных очагов короеда-типографа, в первую очередь в Рощинском, Северо-Западном и Приозерском лесничествах.

Угроза массового размножения большого соснового лубоеда оценивается как невысокая, однако погодноклиматические условия также оказывают благоприятное влияние на распространение данного вида вредителей, что требует сохранения бдительности и мониторинга ситуации.

Стволовые вредители демонстрируют различную степень активности. Некоторые способны заселять деревья без видимых признаков ослабления, тогда как другие предпочитают ослабленные деревья, практически утратившие жизнеспособность, или поваленные деревья. Однако при значительном увеличении численности стволовых вредителей, достигающем фазы вспышки, даже здоровые насаждения могут подвергнуться их нападению.

Очаги стволовых вредителей подразделяются на: временные - существующие от одного до нескольких лет и хронические, характеризующиеся многолетним существованием вредителей. Хронические очаги, как правило, приурочены к местам развития грибных заболеваний и древостоям, произрастающим в неблагоприятных условиях. В хвойных насаждениях чаще всего встречаются временные очаги.

Для предотвращения распространения стволовых вредителей необходимо проводить систематическую санитарную очистку леса, удаляя мертвую древесину и валежник, выявлять и удалять свежезаселенные и усыхающие деревья, особенно в рекреационных зонах. В местах лесозаготовок необходимо своевременно проводить очистку мест рубок, осуществлять вывозку, окорку или химическую защиту лесопроductии, а также проводить окорку или химическую обработку пней хвойных пород.

При назначении участков леса в санитарные рубки следует проявлять особую осторожность, поскольку чрезмерное изреживание может привести к потере устойчивости насаждением и, как следствие, к его гибели. Важно соблюдать баланс между необходимостью удаления пораженных деревьев и сохранением целостности и устойчивости лесного массива.

#### Список использованных источников

1. Пространственная динамика состояния и комплексов болезней и вредителей таежных лесов северо-запада европейской части России / М. Б. Мартирова, Н. А. Мамаев, Е. Ю. Варенцова [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. – № 251. – С. 17-44. – DOI 10.21266/2079-4304.2024.251.17-44. – EDN UUUUNI.
2. Селиховкин А. В. Стволовые вредители - хозяева лесов севера европейской части России в начале XXI столетия / А. В. Селиховкин // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2023. – С. 880-883. – EDN BZGHUN.
3. Фомин С. Н. Сибирский шелкопряд в Республике Тыва, история исследований / С. Н. Фомин, В. В. Баринов, В. С. Мыглан // Сибирский лесной журнал. – 2019. – № 5. – С. 3-14. – DOI 10.15372/SJFS20190501. – EDN OYBXTQ.
4. Анализ усыхания древесной растительности по материалам дистанционного зондирования Земли в Гатчинском лесничестве / Р. Б. Борисов, А. А. Селиванов, М. Р. Вагизов [и др.] // Актуальные вопросы лесного хозяйства : материалы VI международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2022 года / Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Реноме», 2022. – С. 203-207. – EDN ZBFVBA.
5. Алексеев А. С. Выявление повреждений хвойных насаждений на основе комплексного анализа результатов дистанционного зондирования Земли и наземных обследований / А. С. Алексеев, Д. М. Черниховский // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2024. – № 2(398). – С. 11-28. – DOI 10.37482/0536-1036-2024-2-11-28. – EDN YDQSLN.
6. Алексеев А. С. Вспышка размножения короэда типографа (*Ips Tirographus*) в древостоях ели европейской на территории Ленинградской области: раннее обнаружение, развитие и оценка по материалам дистанционного зондирования Земли / А. С. Алексеев, Д. М. Черниховский // Цифровые технологии в лесном секторе: материалы IV всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 19–20 октября 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2023. – С. 4-6. – EDN TOEVBS.
7. Бобровская Р. М. Социальные аспекты применения искусственного интеллекта для повышения экологической культуры населения / Р. М. Бобровская // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2025. – № 4(52). – С. 197-203. – EDN ZYASOV.
8. Garg T., Dwivedi P., Mishra M.K., Naveen Chandra Joshi, Neeraj Shrivastava, Vaibhav Mishra. // Chapter Nine. Artificial intelligence in plant disease identification: Empowering agriculture, *Methods in Microbiology*, Academic Press, Volume 55, 2024, Pages 179-193, <https://doi.org/10.1016/bs.mim.2024.05.007>.

## Reference

1. Spatial dynamics of the state and complexes of diseases and pests of taiga forests of the north-west of the European part of Russia / M. B. Martirova, N. A. Mamaev, E. Y. Varentsova [et al.] // *Izvestiya St. Petersburg Forestry Academy*. - 2024. - № 251. - C. 17-44. - DOI 10.21266/2079-4304.2024.251.17-44. - EDN UUYUNI.
2. Selikhovkin A. V. Stem pests - hosts of forests of the north of the European part of Russia in the early XXI century / A. V. Selikhovkin // *Forests of Russia: politics, industry, science, education: Proceedings of the VIII All-Russian scientific and technical conference, St. Petersburg, May 24-26, 2023*. - St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov, 2023. - C. 880-883. - EDN BZGHUN.
3. Fomin S. N. Siberian silkworm in the Republic of Tyva, history of research / S. N. Fomin, V. V. Barinov, V. S. Myglan // *Siberian Forestry Journal*. - 2019. - № 5. - C. 3-14. - DOI 10.15372/SJFS20190501. - EDN OYBXTQ.
4. Analysis of woody vegetation desiccation based on remote sensing data in Gatchina forestry / R. B. Borisov, A. A. Selivanov, M. R. Vagizov [et al.] // *Actual issues of forestry : proceedings of the VI International Youth Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, November 10-11, 2022* / S. M. Kirov St. Petersburg State Forestry University. - St. Petersburg: Limited Liability Company "Renome", 2022. - C. 203-207. - EDN ZBFVBA.
5. Alekseev A. C. Detection of coniferous plantations damages on the basis of complex analysis of the results of remote sensing and ground surveys / A. S. Alekseev, D. M. Chernikhovsky // *Izvestia vysshee obrazovaniya vysshee obrazovaniya. Forest journal*. - 2024. - № 2(398). - C. 11-28. - DOI 10.37482/0536-1036-2024-2-11-28. - EDN YDQSLN.
6. Alekseev A. C. The outbreak of bark beetle (*Ips Tipographus*) reproduction in stands of European spruce in the Leningrad region: early detection, development and assessment based on remote sensing data / A. S. Alekseev, D. M. Chernikhovsky // *Digital technologies in the forest sector: proceedings of the IV All-Russian scientific and technical conference, St. Petersburg, October 19-20, 2023*. - St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, 2023. - C. 4-6. - EDN TOEVBS.
7. Bobrovskaya R. M. Social aspects of the application of artificial intelligence to improve the environmental culture of the population / R. M. Bobrovskaya // *Information technologies and systems: management, economics, transportation, law*. - 2025. - № 4(52). - C. 197-203. - EDN ZYASOV.
8. Garg T., Dwivedi P., Mishra M.K., Naveen Chandra Joshi, Neeraj Shrivastava, Vaibhav Mishra. // Chapter Nine. Artificial intelligence in plant disease identification: Empowering agriculture, *Methods in Microbiology*, Academic Press, Volume 55, 2024, Pages 179-193, <https://doi.org/10.1016/bs.mim.2024.05.007>.

## **FOREST PATHOLOGICAL STATE OF FORESTS IN LENINGRAD REGION**

**Gaifullin Ildar Ilgamovich**

Forestry expert

OOO "Metro Cash & Carry",

Saint Petersburg

E-mail: [pimenta.spb@icloud.com](mailto:pimenta.spb@icloud.com)

Научное издание

Главный редактор  
**Вагизов Марсель Равильевич**

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Научный журнал

ТОМ 1  
Выпуск 1  
2025

*Выпуск утверждён редакционным советом*

---

Издательско-полиграфическая компания «Бриг»  
г. Казань, ул. Академическая, д.2. Тел.: 8(843) 537-91-63  
Подписано с оригинал-макета 26.05.2025 Формат 60x841 / 8 . Уч.-печ.л. 8,84.  
Заказ № 247. Тираж 100 шт.  
Печать цифровая.  
Отпечатано в типографии ООО «ИПК «Бриг»