



СГУГиТ
СИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

Учредитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ)

Вестник СГУГиТ

Научный журнал
Издается с 1996 г.
Выходит 6 раз в год

Том 30, № 4, 2025

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4

СОДЕРЖАНИЕ

Главный редактор

К. т. н., доцент
Обиденко Владимир Иванович

Заместители главного редактора:

Д. т. н., проф. Д. В. Лисицкий
Д. т. н., проф. Г. А. Уставич

Редакционная коллегия:

Д. т. н., проф. В. С. Айрапетян
Д. б. н. К. С. Байков
К. т. н., проф. Г. Гиенко (США)
К. т. н., проф. В. Б. Жарников
Д. т. н., проф. С. Златанова (Нидерланды)
Д. т. н., доц. А. В. Комиссаров
Д. т. н., проф. М. Конечны (Чехия)
Д. ф.-м. н., проф. С. М. Копейкин (США)
Д. б. н., проф. Ю. В. Кравцов
К. ф.-м. н., доц. Е. Левин (США)
Д. т. н., проф. Е. М. Мазурова
Д. т. н., акад. РАН Н. П. Похиленко
Д. ф.-м. н., проф. О. А. Романовский
Д. т. н., проф. А. П. Сизов
Д. г. н., проф. В. С. Тикунов
Д. ф.-м. н., проф. В. Ю. Тимофеев
Д. т. н., проф. А. С. Толстиков
Д. т. н., проф. Л. К. Трубина
Д. т. н., доц. В. С. Хорошилов
Д. т. н., проф. Д. А. Шаповалов
Д. т. н., акад. РАН М. И. Эпов
Д. т. н., проф. Р. Ягер (Германия)

До 2015 г. журнал выходил под названием «Вестник СГГА»

С 2017 г. нумерация журнала включает номер тома (порядковый номер года издания) и номер выпуска в текущем году

© СГУГиТ, 2025

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ

- Д. М. Искаков.* Автоматизация процессов BIM-моделирования по данным проектной документации 5
- В. С. Хорошилов, Н. Н. Кобелева.* Формирование групп статистически однородных исходных данных для улучшения качества построения прогнозных математических моделей кинематического типа 15

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

- Г. В. Алиева, О. А. Гусейнов.* Анализ влияния атмосферы на пространственное разрешение сканирующих съемочных систем летательных аппаратов 26
- А. А. Бурдин, Д. А. Богатырев, А. В. Тарасов, С. В. Пьянков.* Оценка параметров деревьев на основе данных воздушного лазерного сканирования в смешанных лесах Среднего Предуралья 32

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

- Ю. В. Бельшиева, О. Г. Гвоздев, А. В. Матерухин.* Принципы автоматизируемой интерпретации и извлечения пространственных данных из наземных изображений с учетом их пространственно-временного контекста 42
- Г. И. Загребин.* Разработка справочно-поисковой системы изданных карт и атласов 52
- А. А. Костерева, М. Р. Вагизов.* Проблемы геоинформационного моделирования объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга (часть 1) 64
- Д. С. Логинов.* Систематизация результатов и подходов к пониманию картографического обеспечения научно-производственной деятельности 75
- К. В. Меданова, С. А. Балтабеков.* Применение ГИС-программы «Google Планета Земля» в системе дистанционного мониторинга земель лесного фонда 88
- С. А. Седых.* Картографирование структуры геосистем для проектирования экологической тропы на полуострове Святой Нос (озеро Байкал) 98

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой
по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций –
свидетельство ПИ № ФС 77-62654
от 10 августа 2015 г.

Журнал входит в Перечень
рецензируемых научных
изданий, в которых должны быть
опубликованы основные научные
результаты диссертаций
на соискание ученой степени
кандидата и доктора наук

Журнал включен в Российский
индекс научного цитирования
(РИНЦ) и актуальную версию
«Белого списка».

**Подписные индексы
в каталогах:**

«Пресса России» – 43809
Электронный каталог «Пресса
России» – 43809э

Технический редактор журнала
В. А. Рыжова

Адрес редакции и издателя:
630108, Новосибирск,
ул. Плахотного, 10
E-mail: vestnik@snga.ru
Тел. (383)361-06-55
http://vestnik.snga.ru

Перевод на английский язык
И. А. Мусихин

Редакторы:
Е. К. Деханова
О. В. Георгиевская

Компьютерная верстка:
В. А. Рыжова

Свободная цена.

Дата выхода в свет 28.08.2025.
Формат 60 × 84 1/8.
Усл. печ. л. 21,04.
Тираж 100 экз. Заказ 96.

Редакционно-издательский
отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск,
ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной
лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск,
ул. Плахотного, 8.

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Д. А. Гура. Методологические принципы трехмерной
идентификации объектов недвижимости..... 109

*Д. В. Долгополов, Т. И. Кузнецов, А. Г. Ахундов,
А. И. Барышев, В. А. Мелкий.* Построение трехмерных
моделей объектов магистрального трубопровода по
данным лазерного сканирования для формирования
границы отвода земель..... 117

А. П. Карник, А. В. Дубровский, О. И. Малыгина. Кон-
цепция геопространственной цифровой научно-иссле-
довательской инфраструктуры СГУГиТ..... 131

М. Ш. Махотлова. Земли сельскохозяйственного
назначения в сельском поселении Карагач Прохлад-
ненского района Кабардино-Балкарской Республики..... 143

*Ю. В. Саенко, Д. В. Пархоменко, И. В. Саенко,
И. В. Пархоменко.* Судебная отмена генеральных
планов в порядке абстрактного нормоконтроля: спра-
ведливость решений с учетом соразмерности послед-
ствий..... 153

*А. П. Сизов, Е. Г. Черных, В. Н. Щукина, К. Р. Мерку-
рьева, Д. А. Букреев.* Применение космических сним-
ков для определения средоформирующего потенци-
ала территории..... 168

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

75 лет Олегу Кузьмичу Ушакову, заслуженному ра-
ботнику высшей школы РФ, кандидату технических
наук, доценту Сибирского государственного универ-
ситета геосистем и технологий..... 179



SSUGT
SIBERIAN STATE
UNIVERSITY OF GEOSYSTEMS
AND TECHNOLOGIES

Founder Federal State Budgetary
Educational Institution of Higher Education
"Siberian State University
of Geosystems and Technologies"

Vestnik SSUGT
Scientific journal
Published since 1996
Issued 6 times a year

Volume 30(4), 2025

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4

CONTENTS

GEODESY AND MINE SURVEY

- D. M. Iskakov.* Automation of BIM modeling processes through project documentation 5
- V. S. Khoroshilov, N. N. Kobeleva.* Formation of statistically homogeneous groups of initial data to improve the quality of predictive mathematical models of kinematic type 15

REMOTE SENSING, PHOTOGRAMMETRY

- G. V. Aliyeva, O. A. Huseynov.* Analysis of atmosphere impact on spatial resolution of scanning imaging systems in aircraft 26
- A. A. Burdin, D. A. Bogatyrev, A. V. Tarasov, S. V. Pyankov.* Assessment of tree parameters based on aerial laser scanning data in mixed forests of the Middle Urals 32

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

- Yu. V. Belysheva, O. G. Gvozdev, A. V. Materukhin.* Principles of automated interpretation and spatial data extraction from ground-based imagery considering spatiotemporal context 42
- G. I. Zagrebin.* Development of a reference-search system for published maps and atlases 52
- A. A. Kostereva, M. R. Vagizov.* Addressing geo-information challenges in the modeling of Saint Petersburg's landscape architectural heritage (part 1) 64
- D. S. Loginov.* Cartographic support for scientific and production activities: a systematic review of methods and results 75
- K. V. Medanova, S. A. Baltabekov.* Enhancing forest land monitoring through GIS Google Earth technology 88
- S. A. Sedykh.* Designing an Ecological Trail on Cape Svyatoy Nos Peninsula (Lake Baikal) Through Geosystem Structure Mapping 98

Editor-in-Chief:

Ph. D. (Eng.), Associate Professor
Obidenko V. I.

Depute Editor-in-Chief:

D. Sc. (Eng.), Prof. D. V. Lisitsky
D. Sc. (Eng.), Prof. G. A. Ustavich

Editorial team:

D. Sc. (Eng.), Prof. V. S. Ajrapetyan
D. Sc. (Biol.) K. S. Baikov
Ph. D. (Eng.), Prof. G. Gienko (USA)
Ph. D. (Eng.), Prof. V. B. Zharnikov
D. Sc. (Eng.), Prof. S. Zlatanova
(Netherlands)
D. Sc. (Eng.), Assoc. Prof.
A. V. Komissarov
D. Sc. (Eng.), Prof. M. Konečný
(Czech Republic)
D. Sc. (Phys.-Math.), Prof.
S. M. Kopeikin (USA)
D. Sc. (Biol.), Prof. Yu. V. Kravtsov
Ph. D. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.
E. Levin (USA)
D. Sc. (Eng.), Prof. E. M. Mazurova
Member of RAS N. P. Pokhilenko
D. Sc. (Phys.-Math.), Prof.
O. A. Romanovskij
D. Sc. (Eng.), Prof. A. P. Sizov
D. Sc. (Geogr.), Prof. V. S. Tikunov
D. Sc. (Phys.-Math.), Prof.
V. Yu. Timofeev
D. Sc. (Eng.), Prof. A. S. Tolstikov
D. Sc. (Eng.), Prof. L. K. Trubina
D. Sc. (Eng.), Assoc. Prof.
V. S. Horoshilov
D. Sc. (Eng.), Prof. D. A. Shapovalov
D. Sc. (Eng.), Member of RAS
M. I. Epov
D. Sc. (Eng.), Prof. R. Jäger (Germany)

Before 2015 journal
was published under the name
«Vestnik SSGA»

Starting from 2017 numbering of the
volume refers to the number of years
the journal has been circulated. The
number of the issue refers to how many
times the journal was published during
the year

© SSUGT, 2025

Registration certificate

The journal is registered in the Federal Service for Supervision of Communications Information Technology, and Mass Media – Certificate PI No. 77-62654 of August 10, 2015

The journal is included in the List of refereed scientific journals, recommended by Highest Attestation Commission of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for publishing the scientific results of dissertations in candidacy for a degree of Candidate or Doctor of Science degree

The journal is included in the Russian Science Citation Index (RSCI) and current version of the White List

Subscription indexes in catalogues:

«Russian press» – 43809

Electronic catalogue "Russian press" – 43809

Layout editor of journal

V. A. Ryzhova

Editors office and publisher address:

630108, Novosibirsk,

10 Plakhotnogo St.

E-mail: vestnik@ssga.ru

Phone: (383)361-06-55

<http://vestnik.ssga.ru>

English translation

I. A. Musikhin

Editors:

E. K. Dehanova

O. V. Georgievskaya

Desktop publishing:

V. A. Ryzhova

Free price

Issue data 28.08.2025.

Format 60 × 84 1/8.

Conv. pr. sheets 21,04.

Circulation 100 copies.

Order 96.

Printing and publication

department SSUGT

630108, Novosibirsk,

10 Plakhotnogo St.

Printed in Map Printing

Laboratory SSUGT

630108, Novosibirsk,

8 Plakhotnogo St.

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

D. A. Gura. Methodological Approaches to Three-Dimensional Identification and Registration of Real Estate Objects..... 109

D. V. Dolgoplov, T. I. Kuznetsov, A. G. Akhundov, A. I. Baryshev, V. A. Melkiy. Three-dimensional geoinformation modeling of main pipeline facilities by laser scanning data to form the boundary of the allotment of land 117

A. P. Karpik, A. V. Dubrovsky, O. I. Malygina. Concept of SSUGT's Geospatial Digital Research Infrastructure 131

M. Sh. Makhotlova. Analysis of land redistribution methodology for agricultural use on the example of Karagach Village, the Kabardino-Balkarian Republic, using modern geoinformation techniques 143

Yu. V. Saenko, D. V. Parkhomenko, I. V. Saenko, I. V. Parkhomenko. Challenging Master Plans via Judicial Review: Balancing Fairness with Proportionate Outcomes 153

A. P. Sizov, E. G Chernyh, V. N. Shchukina, K. R. Merkurieva, D. A. Bukreev. Application of satellite imagery for assessing the environment forming potential of a territory 168

ANNIVERSARIES

Oleg Kuzmich Ushakov is 75 years old, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Siberian State University of Geosystems and Technologies 179

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ



УДК 528.48

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-5-14

Автоматизация процессов BIM-моделирования по данным проектной документации

Д. М. Искаков¹✉

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: d.iskakov@svarog.ru

Аннотация. В статье рассматривается процесс автоматизации обработки данных проектной документации и их интеграции в BIM-модели. Основное внимание уделено этапу подготовки данных, который традиционно считается наиболее трудоемким и ресурсоемким. Цель исследования – автоматизация процессов BIM-моделирования по данным проектной документации. Основными задачами являются автоматизация извлечения данных из PDF-чертежей, их последующая обработка и преобразование в формат, пригодный для использования в системах BIM. Результаты показали, что разработанный инструмент способен существенно сократить время обработки данных и повысить точность их интеграции. Основные выводы, сделанные по результатам работы, заключаются в том, что предложенный инструмент значительно упрощает и ускоряет такие процессы, как преобразование данных из технической документации, извлечение текстовой и табличной информации, а также проверка их на полноту и соответствие. Это, в свою очередь, повышает эффективность создания каталогов и миникаталогов компонентов трубопроводных систем, что способствует повышению точности и сокращению времени на проектирование. Это особенно важно в условиях обработки больших объемов данных, где традиционные методы обработки могут оказаться трудоемкими и менее точными.

Ключевые слова: Python, оптическое распознавание текста, автоматизация процессов, PDF-чертежи, информационное моделирование зданий, извлечение данных, интеграция данных

Для цитирования:

Искаков Д. В. Автоматизация процессов BIM-моделирования по данным проектной документации // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 5–14. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-5-14

Введение

Современные технологии информационного моделирования зданий (BIM) становятся ключевым инструментом в управлении жизненным циклом объектов, начиная от проектирования и заканчивая эксплуатацией. Интеграция данных проектной документации

в BIM-модели часто связана с рядом сложностей, включая большие объемы данных, их структурирование и обработку. В этом контексте использование языка программирования для автоматизации процессов обработки данных и их интеграции в BIM-модели представляет собой перспективное направление исследований.

Цель данного исследования заключается в автоматизации процессов BIM-моделирования по данным проектной документации. Основными задачами являются автоматизация извлечения данных из PDF-чертежей, их последующая обработка и преобразование в формат, пригодный для использования в системах BIM, таких как AutoCAD Plant 3D. Основное внимание уделяется автоматизации извлечения информации из таблиц, содержащих данные о компонентах трубопроводных систем, представленных в изометрических чертежах.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии методов автоматизации обработки проектных данных для использования в BIM моделировании, что позволит существенно сократить время на обработку данных и снизить количество ошибок при интеграции. Практическая значимость заключается в разработке программного инструмента, который может быть использован в реальных строительных проектах для повышения эффективности процессов моделирования и управления строительными объектами.

Несмотря на значительное количество исследований в области применения лазерного сканирования и BIM, остается ряд нерешенных проблем. Например, автоматизация процесса обработки больших объемов данных и их интеграции в BIM-модели все еще требует разработки эффективных алгоритмов и инструментов [1–3]. Кроме того, проблема точности распознавания и обработки данных, полученных из PDF-чертежей, особенно в контексте сложных инженерных объектов, также требует дальнейшего изучения [4–6].

Среди наиболее известных исследований в данной области можно выделить работы, посвященные автоматизированному созданию BIM-моделей на основе облаков точек, полученных с помощью НЛС [7–9]. Эти исследования демонстрируют значительные достижения в области моделирования сложных объектов, однако не охватывают все аспекты интеграции данных и автоматизации процессов, что подчеркивает актуальность и необходимость дальнейших разработок.

Доступные публикации отечественных исследователей, затрагивающие BIM-технологии, преимущественно ориентированы на

общие вопросы их внедрения и применения в строительной отрасли [10, 11]. Следует отметить, что специализированные исследования, посвященные автоматизации обработки данных НЛС и их интеграции в BIM-модели, в российских научных источниках практически отсутствуют.

Таким образом, представляемая работа нацелена на решение указанных проблем путем разработки эффективного инструмента, который позволит оптимизировать процессы обработки данных изометрических чертежей и интеграции их в BIM-модели, что, в свою очередь, повысит эффективность проектирования и управления строительными проектами.

Анализ последних исследований показывает значительный интерес к вопросам интеграции данных НЛС в BIM. В частности, в работах [2, 3] рассматриваются подходы к автоматизированному созданию BIM-моделей на основе облаков точек, а исследования [4, 8] подчеркивают важность оптимизации этих процессов для повышения точности и снижения затрат. Тем не менее, многие аспекты, связанные с автоматизацией обработки данных и их интеграцией в BIM, остаются нерешенными, что делает данное исследование актуальным и востребованным.

Методы и материалы

Процесс создания BIM-модели состоит из нескольких важных этапов [12], каждый из которых обеспечивает поэтапное и логичное преобразование данных, представленных в чертежах и спецификациях, в полноценную цифровую модель. Методика построения модели представлена на рис. 1.



Рис. 1. Основные этапы построения модели

Особое внимание в данном исследовании уделяется автоматизации этапа «Подготовка данных к обработке», так как этот этап является наиболее трудоемким.

В рамках проведенного исследования был разработан программный инструмент на

языке Python 3.12, который автоматизирует этап «Подготовка данных к обработке». В исследовании применялись изометрические чертежи нефтепровода, фрагмент изометрического чертежа в формате «.pdf» представлен на рис. 2.

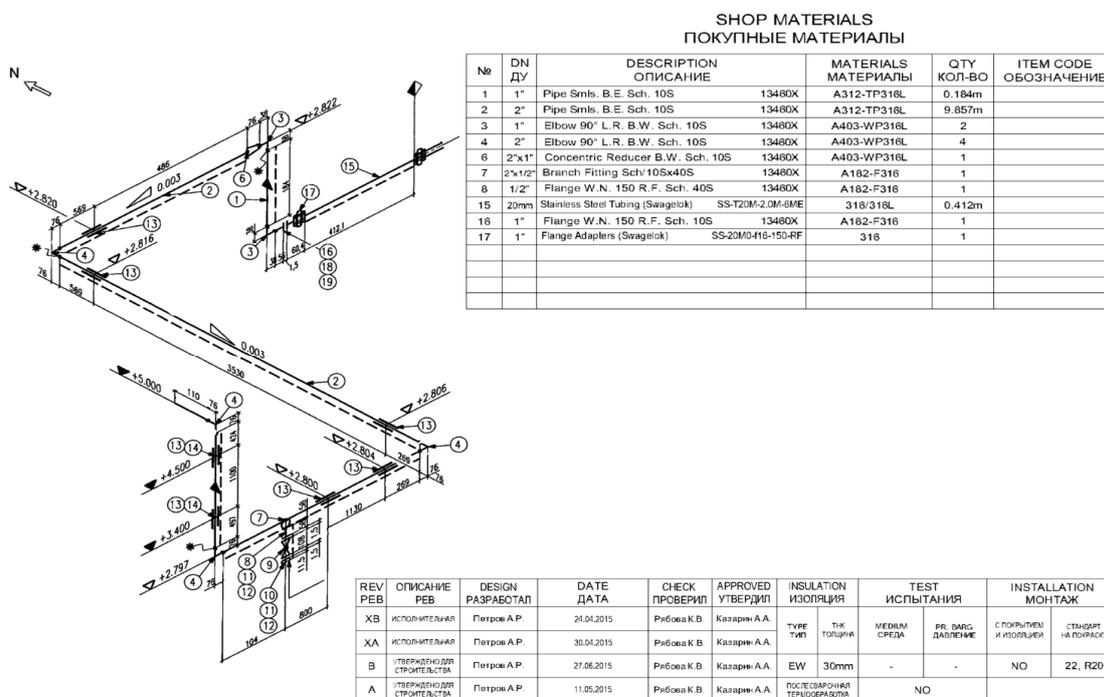


Рис. 2. Фрагмент изометрического чертежа в формате «.pdf»

Для работы с текстовой информацией используются два подхода: если данные представлены в машиночитаемом формате, применяются инструменты «pdfplumber», «PyMuPDF (fitz)» и «PDFMiner», которые позволяют анализировать структуру документа и извлекать текстовые блоки с сохранением их логической организации. В случае, когда текст представлен в виде изображений, используется «Tesseract OCR», «EasyOCR» и «PaddleOCR», предварительно оптимизированные методами бинаризации и фильтрации шумов для повышения точности распознавания.

Основные методы и материалы, использованные в работе, включают несколько ключевых модулей, каждый из которых выполняет поставленные оператором задачи, обеспечивая целостность и последовательность обработки данных. Структура ключевых модулей программы представлена на рис. 3.

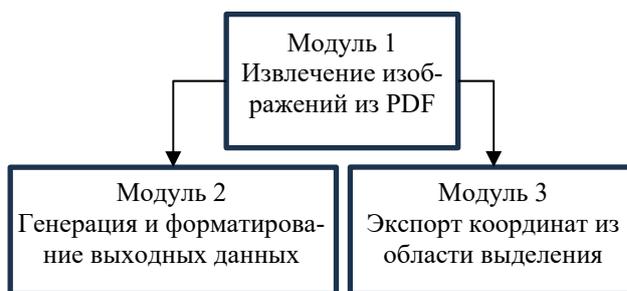


Рис. 3. Структура ключевых модулей программы

Модуль 1 является основным компонентом программы, который отвечает за реализацию последовательного извлечения изображений из PDF-документов. Этот процесс осуществляется с помощью библиотеки «Pdfplumber», которая обеспечивает точное извлечение визуальных данных из чертежей [13]. Принцип работы библиотеки «Pdfplumber» представлен на рис 4.

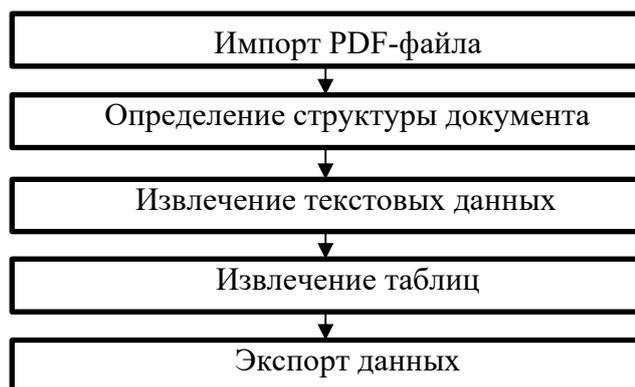


Рис. 4. Принцип работы библиотеки «Pdfplumber»

Извлеченные изображения затем подвергаются дальнейшей обработке, включающей фильтрацию шума, повышение контрастности и преобразование в черно-белый формат. Эти этапы обработки реализуются с использованием библиотеки «Pillow», что позволяет существенно улучшить качество изображений перед применением OCR (оптического распознавания текста) [14].

Для распознавания текста на обработанных изображениях используется библиотека «Pytesseract», которая интегрирует движок Tesseract OCR. Этот метод позволяет эффективно извлекать текстовую информацию с изображений, особенно после их предварительной обработки [15]. Принцип работы библиотеки «Pytesseract» представлен на рис 5.

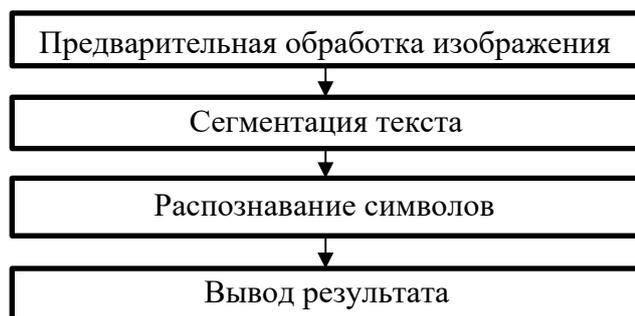


Рис. 5. Принцип работы библиотеки «Pytesseract»

Настройки программы, такие как пути к файлам и параметры обработки изображений, управляются с помощью библиотеки «Configparser», что обеспечивает гибкость и адаптив-

ность программы без необходимости изменения исходного кода. Модуль «Configparser», являющийся встроенным инструментом языка программирования Python, предназначен для эффективной работы с конфигурационными файлами, представленными в формате «.INI». Основным принципом работы модуля основан на организации данных в виде секций, содержащих пары «ключ – значение». Такой подход позволяет структурированно хранить параметры, обеспечивая логичное разделение настроек по функциональным блокам [16].

Модуль 2 отвечает за генерацию и форматирование выходных данных в формате «.xlsx». Данные, полученные в результате распознавания текста, структурируются и организуются в виде таблиц, которые затем сохраняются в Excel-файл с использованием библиотеки «Oreпрухl» [17]. Этот процесс включает настройку ширины столбцов в соответствии с содержимым, что улучшает визуальное восприятие данных, а также удаление лишних пустых строк для обеспечения целостной структуры итогового документа.

Модуль 3 предоставляет графический интерфейс, позволяющий пользователю интерактивно выделять области на изображениях, из которых требуется извлечь текст. Этот интерфейс разработан на основе библиотеки «Tkinter» и позволяет пользователю точно определять и называть области изображения, которые затем сохраняются в виде координат [18]. Инструмент значительно упрощает дальнейшее использование данных, обеспечивая возможность автоматизации процесса выделения областей на изображениях. Это особенно важно при многократном использовании программы, когда необходимо работать с повторяющимися задачами.

Результаты

В результате проведенного исследования был разработан программный инструмент на языке Python 3.12, который успешно автоматизирует процесс обработки больших объемов данных проектной документации. Блок-схема процесса извлечения данных из PDF и их экспорта в Excel представлена на рис. 6.

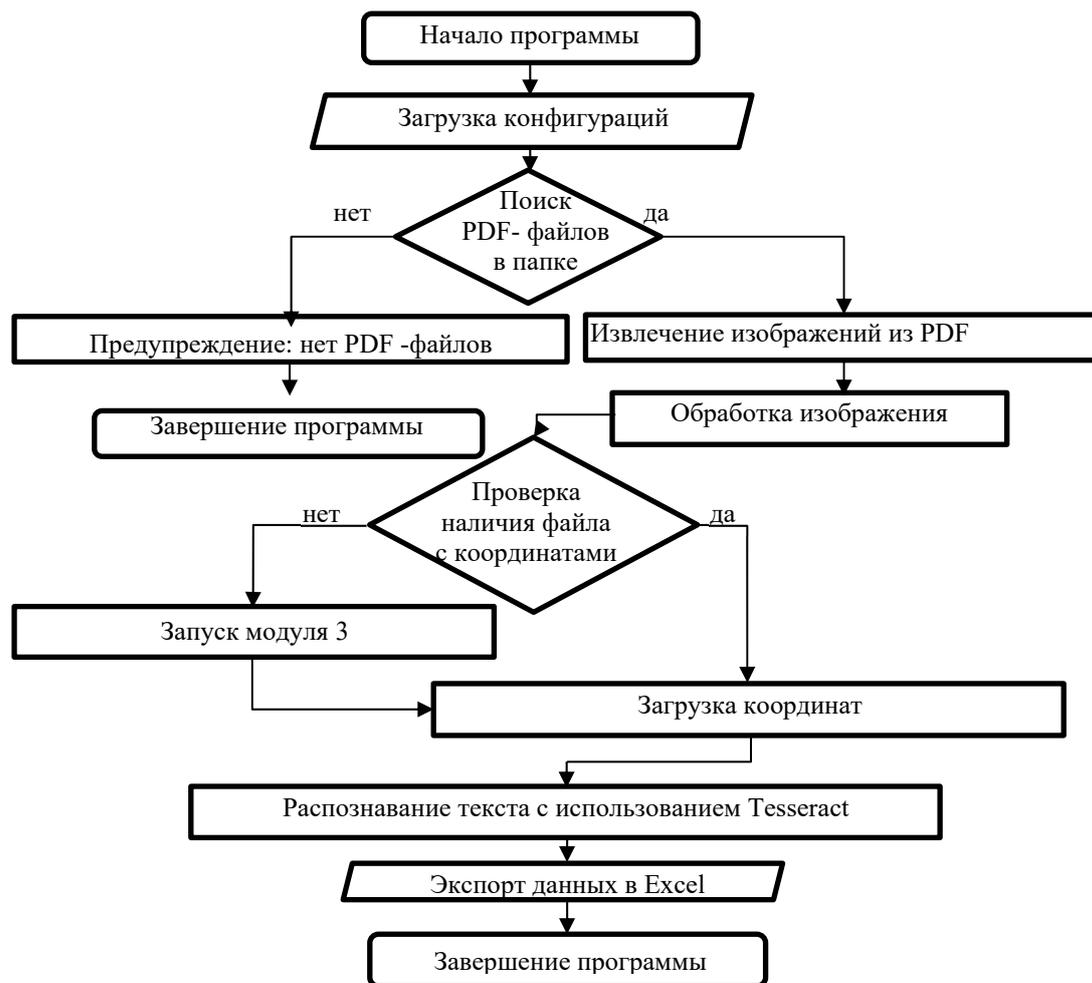


Рис. 6. Блок-схема процесса извлечения данных из PDF и их экспорта в Excel

Работа модуля «Экспорт координат из области выделения» представлена на рис. 7. Данный модуль предоставляет пользователю возможность интерактивного взаимодействия с изображениями, позволяя выделять необходимые области с высокой точностью.

SHOP MATERIALS ПОКУПНЫЕ МАТЕРИАЛЫ					
№	DN ДУ	DESCRIPTION ОПИСАНИЕ	MATERIALS МАТЕРИАЛЫ	QTY КОЛ-ВО	ITEM CODE ОБОЗНАЧЕНИЕ
1	1"	Pipe Smpls. B.E. Sch. 10S	13480X	A312-TP316L	0.184m
2	2"	Pipe Smpls. B.E. Sch. 10S	13480X	A312-TP316L	9.857m
3	1"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 10S	13480X	A403-WP316L	2
4	2"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 10S	13480X	A403-WP316L	4
6	2"x1"	Concentric Reducer B.W. Sch. 10S	13480X	A403-WP316L	1
7	1/2"	Branch Fitting Sch. 10S 40S	13480X	A182-F316	1
8	1/2"	Flange W.N. 150 R.F. Sch. 40S	13480X	A182-F316	1
15	20mm	Stainless Steel Tubing (Swagelok)	SS-T20M2.0M-2ME	318/316L	0.412m
16	1"	Flange W.N. 150 R.F. Sch. 10S	13480X	A182-F316	1
17	1"	Flange Adapters (Swagelok)	SS-20M0416-150-4F	318	1

Рис. 7. Работа модуля «Экспорт координат из области выделения»

Пример координат для первой таблицы, получаемых с помощью модуля «Экспорт координат из области выделения», представлен на рис. 8.

ординат из области выделения», представлен на рис. 8.

Z1: (7933.0, 252.0), (9161.0, 490.0)
 R1-1: (6873.0, 536.0), (7039.0, 1743.0)
 R1-2: (7058.0, 532.0), (7224.0, 1812.0)
 R1-3: (7231.0, 529.0), (8618.0, 1858.0)
 R1-4: (8707.0, 545.0), (9218.0, 1728.0)
 R1-5: (9291.0, 541.0), (9580.0, 1822.0)
 R1-6: (9623.0, 541.0), (10216.0, 1717.0)

Рис. 8. Пример получаемых координат модулем «Экспорт координат из области выделения»

Программный инструмент тестировался на 20 файлах в формате «.pdf». Тесты показали следующие результаты:

- скорость обработки одного файла составила одну минуту;
- скорость обработки двадцати файлов составила десять минут;

– скорость выделения необходимых областей для данного примера составила шесть минут;
 – скорость переноса данных одного файла вручную занимает от двух до четырех минут.

Точность переноса текста в «.xlsx» формат автоматическим способом составила 80 %, что требует последующего ручного корректирования. Пример итогового файла Excel представлен на рис. 9.

№	DN	ОПИСАНИЕ	МАТЕРИАЛЫ	QTY	ИТЕМ CODE
4	E	HY	МАТЕРИАЛЫ	KON-BO	ОБОЗНАЧЕНИЕ
5	20	4m	Pipe Smls. B.E. Sch. 105 13460X	A312-TP316L	0.184m
6	o8	ra	Pipe Smls. B.E. Sch. 105 13460X	A312-TP316L	9.857m
7	4	a	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	A403-WP316L	2
8	6j	Га	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	A403-WP316L	4
9	7	412"	Concentric Reducer B.W. Sch. 105 13460X	A403-WP316L	—
10	8	20mm	Branch Fitting Sch/108x405 13460X	A182-F316	—
11	015°	a	Flange V.W.N. 150 R.F. Sch. 405 13460X	A182-F316	—
12	16°	K	Stainless Steel Tubing (Swagelok) \$S-T20M-2.0M-6ME	316/316L	0.412m
13	a7		Flange W.N. 150 R.F. Sch. 105 13460X	A182-F316	—
14			Flange Adapters (Swagelok) \$S-20M00-F16-150-RF	316	—

Рис. 9. Пример итогового файла Excel

На следующем этапе для построения модели требуется систематизировать текстовую информацию, а также провести тщательную проверку и исправление грамматических ошибок. Исправленный документ станет основой для быстрой и эффективной интеграции всех данных в миникаталог компонентов трубопровода программного комплекса AutoCAD Plant 3D. Каталоги используются для создания спецификаций, которые в дальнейшем применя-

ются для моделирования трубопроводных систем. Миникаatalogи работают аналогично основным каталогам, но могут быть более узко специализированными и содержать только нужные компоненты, что упрощает работу с часто используемыми элементами. Пример окна редактора миникаatalogа представлен на рис. 10. Пример подготовленной детали по полученным данным из перенесенного текста представлен на рис. 11.

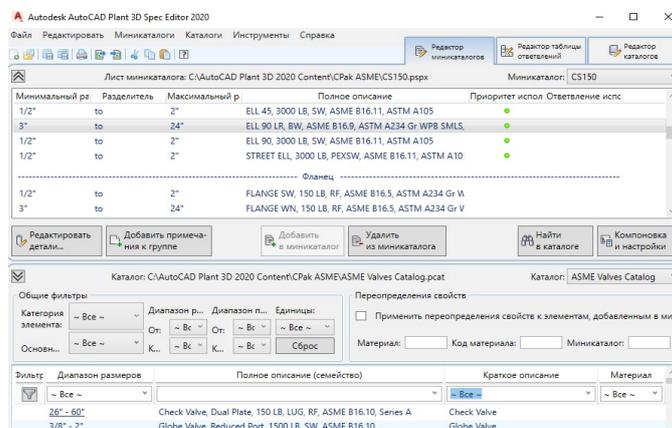


Рис. 10. Окно редактора миникаatalogа

Размер	Полное описание (семейство)	Совместимый	Изготовитель	Материал	Код	Полное описание (размер)
1/2"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
3/4"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
1"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
1 1/4"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
1 1/2"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
2"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
2 1/2"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
3"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
3 1/2"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
4"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
5"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
6"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
8"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
10"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
12"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
14"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
16"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...
18"	Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13460X	ASME B16.9		A403-WP316L		Elbow 90° L.R. B.W. Sch. 105 13...

Рис. 11. Пример подготовленной детали в AutoCAD Plant 3D

Созданный миникаталог предоставляет возможность оперативно моделировать определенный участок трубопровода в соответствии с изометрическим чертежом и всеми его спецификациями. Такой подход значительно упрощает процесс проектирования, обеспечивая точность и соответствие исходным данным. Пример модели, построенной по полученному миникаталогу, представлен на рис. 12.



Рис. 12. Пример модели, построенной по полученному миникаталогу в AutoCAD Plant 3D

Заключение

В ходе исследования была проведена работа по автоматизации процессов BIM моделирования по данным проектной документации. Для автоматизации этапа «Подготовка данных к обработке» был разработан про-

граммный инструмент, который успешно автоматизирует процесс обработки больших объемов данных проектной документации для дальнейшего использования в BIM.

Результаты исследования показывают, что внедрение автоматизированных инструментов может значительно улучшить процессы обработки данных. Это, в свою очередь, способствует более эффективной интеграции данных в BIM-моделирование и повышению точности проектных решений.

Точность распознавания текста в данном исследовании составила 80 %, что требует дальнейших улучшений. На данный момент все еще необходима коррекция полученных данных в интерактивном режиме. Это можно рассматривать как направление для дальнейших исследований, направленное на совершенствование алгоритмов распознавания текста и улучшение качества обработки изображений.

Созданный миникаталог на основе полученного текста предоставляет возможность оперативно моделировать определенный участок трубопровода в соответствии с изометрическим чертежом и всеми его спецификациями.

В качестве дальнейших исследований можно рассмотреть вариант работы с разными форматами данных, а также расширить возможности программного комплекса, что повысит эффективность и гибкость в решении практических задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zaczek-Peplinska J., Pasik M., Adamek A., Kołakowska M., lapinski S. Monitoring technical conditions of engineering structures using the terrestrial laser scanning technology // Reports on Geodesy and Geoinformatics. – 2013. – № 95. – С. 1–10. – DOI 10.2478/rgg-2013-0008.
2. Wang J., Kutterer H., Fang X. On the detection of systematic errors in terrestrial laser scanning data // Journal of Applied Geodesy – 2012. – № 6. – С. 187–192. – DOI 10.1515/jag-2012-0025.
3. Błaszczyk M., Laska M., Sivertsen A., Jawak S. Combined use of aerial photogrammetry and terrestrial laser scanning for detecting geomorphological changes in Hornsund, Svalbard // Remote Sensing. – 2022. – № 14. – С. 123–131. – DOI 10.3390/rs14030601. – EDN COHIBP.
4. Liu J., Fu L., Cheng G., Li D. Automated BIM reconstruction of full-scale complex tubular engineering structures using terrestrial laser scanning // Remote Sensing. – 2022. – № 14. – С. 542–553. – DOI 10.3390/rs14071659. – EDN PDPXWC.
5. Dupuis J., Holst C., Kuhlmann H. Laser scanning based growth analysis of plants as a new challenge for deformation monitoring // Journal of Applied Geodesy. – 2016. – № 10. – С. 37–44. – DOI 10.1515/jag-2015-0028.

6. Heinz E., Eling C., Wieland M., Klingbeil L., Kuhlmann H. Development, calibration and evaluation of a portable and direct georeferenced laser scanning system for kinematic 3D mapping // Journal of Applied Geodesy. – 2015. – № 9. – С. 227–243. – DOI 10.1515/jag-2015-0011.
7. Ramonell C., Chacon R. Open-source terrestrial laser scanner for the virtualization of geometrical entities in AEC classrooms // Computer Applications in Engineering Education. – 2022. – № 30. – С. 1009–1021. – DOI 10.1002/cae.22499. – EDN KICVTO.
8. Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques// Automation in Construction. – 2010. – № 19. – С. 829–843. – DOI 10.1016/j.autcon.2010.06.007. – EDN OEJZJD.
9. Yang L., Cheng J., Wang Q. Semi-automated generation of parametric BIM for steel structures based on terrestrial laser scanning data // Automation in Construction. – 2020. – № 112. – С. 1–17. – DOI 10.1016/j.autcon.2019.103037. – EDN SNSGGQ.
10. Лисин А. Валидация информационной модели с использованием плагина BIM Interoperability Tools : магистерская диссертация. – Екатеринбург, 2023. – С. 59–61.
11. Султанов Ш., Кукина А. Интероперабельность программного обеспечения при проектировании сложных геометрических форм в BIM : материалы научно-практической Всероссийской конференции – Екатеринбург, 2021. – С. 51–68.
12. Wenlong L., Xiaoping Z., Baoguo X. Application of constructing three-dimensional model using laser scanning technology // Applied Mechanics and Materials. – 2011. – № 94. – С. 86–89. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.94-96.86.
13. Pdfplumber Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/jsvine/pdfplumber> (дата обращения 05.09.2024).
14. Pillow (PIL Fork) Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/> (дата обращения 05.09.2024).
15. Pytesseract Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://pypi.org/project/pytesseract/> (дата обращения 05.09.2024).
16. Configparser Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.python.org/3/library/configparser.html> (дата обращения 05.09.2024).
17. Openpyxl Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/> (дата обращения 05.09.2024).
18. Tkinter Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html> (дата обращения 05.09.2024).

Об авторах

Диас Мейрамович Искаков – аспирант, инженер-геодезист.

Получено 20.12.2024

© Д. М. Искаков, 2025

Automation of BIM modeling processes through project documentation

*D. M. Iskakov*¹✉

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: d.iskakov@svarog.ru

Abstract. The automation of the project documentation data processing and its integration into BIM models is considered in the paper. Particular attention is given to the data preparation phase that is conventionally regarded as the most time-consuming and resource-intensive step. The primary objec-

tive of the research is to achieve automation in BIM modeling through project documentation. The main tasks of the study are to automate data extraction from PDF drawings, their subsequent processing and conversion into a format suitable for use in BIM systems. The obtained results demonstrate that the developed tool can significantly reduce data processing time and improve the accuracy of their integration. The key conclusions drawn from the study indicate that the proposed tool simplifies and accelerates such processes as converting data from technical documentation, extracting textual and tabular information, verifying completeness and consistency, thereby enhancing the efficiency of creating component catalogs and mini-catalogs for pipeline systems, which contributes to increased design accuracy and reduced project timelines. This is particularly crucial when dealing with large volumes of data, where traditional methods may prove laborious and less accurate.

Keywords: Python, optical character recognition, process automation, PDF drawings, BIM, data mining, data integration

REFERENCES

1. Zaczek-Peplinska J., Pasik M., Adamek A., Kołakowska M., lapinski S. (2013). Monitoring technical conditions of engineering structures using the terrestrial laser scanning technology. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 95, 1–10, DOI 10.2478/rgg-2013-0008.
2. Wang J., Kutterer H., Fang X. (2012). On the detection of systematic errors in terrestrial laser scanning data. *Journal of Applied Geodesy*, 6, 187–192, DOI 10.1515/jag-2012-0025.
3. Błaszczuk M., Laska M., Sivertsen A., Jawak S. (2022). Combined use of aerial photogrammetry and terrestrial laser scanning for detecting geomorphological changes in Hornsund, Svalbard. *Remote Sensing*, 14, 123–131, DOI 10.3390/rs14030601. EDN COHIBP.
4. Liu J., Fu L., Cheng G., Li D. (2022). Automated BIM reconstruction of full-scale complex tubular engineering structures using terrestrial laser scanning. *Remote Sensing*, 14, 542–553, DOI: 10.3390/rs14071659. EDN PDPXWC.
5. Dupuis J., Holst C., Kuhlmann H. (2016). Laser scanning based growth analysis of plants as a new challenge for deformation monitoring. *Journal of Applied Geodesy*, 10, 37–44, DOI: 10.1515/jag-2015-0028.
6. Heinz E., Eling C., Wieland M., Klingbeil L., Kuhlmann H. (2015). Development, calibration and evaluation of a portable and direct georeferenced laser scanning system for kinematic 3D mapping. *Journal of Applied Geodesy*, 9, 227–243. DOI 10.1515/jag-2015-0011.
7. Ramonell C., Chacon R. (2022). Open-source terrestrial laser scanner for the virtualization of geometrical entities in AEC classrooms. *Computer Applications in Engineering Education*, 30, 1009–1021, DOI 10.1002/cae.22499. EDN KICVTO.
8. Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19, 829–843, DOI: 10.1016/j.autcon.2010.06.007. EDN OEJZJD.
9. Yang L., Cheng J., Wang Q. (2020). Semi-automated generation of parametric BIM for steel structures based on terrestrial laser scanning data. *Automation in Construction*, 112, 1–17, DOI: 10.1016/j.autcon.2019.103037. EDN SNSGGQ.
10. Lisin A. (2023). Validation of the information model using the BIM Interoperability Tools plug-in [Master's thesis]. Yekaterinburg, 59–61. [in Russian].
11. Sultanov Sh., Kukina A. (2021). Interoperability of software for designing complex geometric shapes in BIM [Proceedings of the Scientific and Practical All-Russian Conference]. Yekaterinburg, 51–68. [in Russian].
12. Wenlong L., Xiaoping Z., Baoguo X. (2011). Application of constructing three-dimensional model using laser scanning technology. *Applied Mechanics and Materials*, 94, 86–89, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.94-96.86.

13. Pdfplumber Documentation. Retrieved from <https://github.com/jsvine/pdfplumber> (accessed September 5, 2024).

14. Pillow (PIL Fork) Documentation. Retrieved from <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/> (accessed September 5, 2024).

15. Pytesseract Documentation. Retrieved from <https://pypi.org/project/pytesseract/> (accessed September 5, 2024).

16. Configparser Documentation. Retrieved from <https://docs.python.org/3/library/configparser.html> (accessed September 5, 2024).

17. Openpyxl Documentation. Retrieved from <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/> (accessed September 5, 2024).

18. Tkinter Documentation. Retrieved from <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html> (accessed September 5, 2024).

Author details

Dias M. Iskakov – Ph. D. Student, surveyor engineer.

Received 20.12.2024

© *D. M. Iskakov, 2025*

УДК 519.87

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-15-25

Формирование групп статистически однородных исходных данных для улучшения качества построения прогнозных математических моделей кинематического типа

В. С. Хорошилов¹✉, Н. Н. Кобелева¹

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: Khoroshilovvs@mail.ru

Аннотация. Одной из ключевых проблем при построении прогнозных математических моделей, включая и модели кинематического типа, является неоднородность исходных данных. Неоднородность может проявляться в различных формах, включая вариативность, наличие выбросов, асимметричные распределения и другие сложности, которые значительно ухудшают качество прогнозов и усложняют процесс моделирования. Для повышения точности прогнозных моделей необходимо разделять исходные данные на группы, обладающие схожими статистическими характеристиками, что позволяет снизить влияние различных источников ошибок и улучшить стабильность результатов. Это особенно актуально при работе с неоднородными массивами данных, где традиционные методы анализа часто оказываются недостаточными для выявления скрытых закономерностей деформационного процесса. Статистическая однородность отдельных реализаций наблюдаемых деформационных марок предполагает детерминировано-вероятностную природу развития процесса деформации инженерных сооружений и ее корректное применение при построении прогнозной математической модели, что должно обеспечиваться статистическим критерием репрезентативности объема выборки. В статье рассматриваются этапы выполнения исследования на основе дисперсионного анализа для корректного выделения групп статистически однородных исходных данных, что позволяет в дальнейшем улучшить качество построения прогнозных математических моделей. С этой целью исследуются возможности применения таких ключевых статистических показателей, как коэффициенты корреляции и вариации, величина дисперсии, средние значения и другие показатели.

Ключевые слова: деформации сооружений, дисперсионный анализ, статистически однородные данные, арифметические средние, коэффициент вариации, математическое моделирование, прогнозная модель

Для цитирования:

Хорошилов В. С., Кобелева Н. Н. Формирование групп статистически однородных исходных данных для улучшения качества построения прогнозных математических моделей кинематического типа // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 15–25. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-15-25

Постановка задачи

В рамках построения прогнозных математических моделей кинематического типа при выделении статистически однородной выборки из ряда измеренных реализаций процесса преследуется цель – определить после-

довательность проведения анализа для выделения подобной выборки и уточнить применяемые ключевые статистические показатели при решении данной задачи. Важность подобного исследования заключается в возможности более корректного выделения групп статистически однородных исходных данных,

что в дальнейшем позволяет улучшить качество построения прогнозных математических моделей и обеспечить более качественное прогнозирование перемещений деформационных марок для исследуемого процесса поведения инженерного сооружения.

Для решения данной задачи предполагается определить основные этапы, которые позволяют с использованием ряда статистических показателей выявить структуру данных в выборке. Это может включать как выделение групп данных, обладающих схожими статистическими характеристиками, так и выявление закономерностей в распределении измеренных величин. С этой целью исследовались возможности применения таких ключевых статистических показателей, как коэффициенты корреляции и вариации, величина дисперсии, средние значения и другие показатели структуры данных:

– коэффициент корреляции позволяет оценить степень взаимосвязи между двумя переменными. При выявлении групп со схожими статистическими характеристиками на основе коэффициентов корреляции можно определить, какие переменные взаимосвязаны и могут быть сгруппированы вместе;

– величина дисперсии позволяет оценить разброс значений в выборке относительно их среднего значения. Группы данных с близкими значениями дисперсии могут быть объединены вместе как имеющие схожую изменчивость;

– анализ средних значений в различных группах данных позволяет определить, есть ли статистически значимые различия между ними. Группы с близкими средними значениями могут быть рассмотрены как имеющие схожие характеристики;

– коэффициент вариации позволяет выявить группы с близкими значениями, что отражает схожий уровень изменчивости.

Состояние вопроса

Рассматривая инженерное сооружение как объект исследования, можно отметить, что оно самым тесным образом взаимодействует как с грунтовым основанием, так и с внешней средой. При этом подсистема

«сооружение» формируется в результате определенной упорядоченности, складывающейся из его объемно-планировочных и конструктивных решений. Это проявляется в конкретных типах строительных конструкций и их размерах, видах материалов несущих конструкций и их свойствах в процессе искусственного изготовления. Немаловажную роль здесь играют взаимное расположение элементов конструкций и возникающие при этом связи в результате планомерного, т. е. упорядоченного размещения конструкций в процессе строительства, что приводит к их инженерно-заданной работе. Поэтому подобная преднамеренная упорядоченность является основанием для реализации расчетов деформации сооружения с применением детерминистических методов. Подсистема «основание» определяется, главным образом, инженерно-геологическими условиями грунтового основания, т. е. условиями залегания и сложения грунтов конкретного основания под инженерное сооружение [1]. Вследствие постоянного давления сооружения на грунтовое основание происходит изменение объема грунта в процессе движения воды по его порам и возникающего внутреннего сопротивления грунта собственному разрушению. А появляющиеся при длительной нагрузке реологические процессы ведут к проявлениям таких свойств грунта, как ползучесть, снижение прочности и т. п. Однако в силу сложности и многообразия свойств грунтов изучить детально каждое отдельное основание под сооружение, его физико-механические свойства и глубину сжимаемой толщи грунтов представляется просто невозможным. В силу этих обстоятельств в теории механики грунтов принято считать случайной природу основания сооружения, а для вычисления необходимых характеристик грунтов применяются вероятностно-статистические методы. В подсистему «внешняя среда» включаются всевозможные нагрузки и воздействия на сооружение. Природа нагрузок достаточно разнообразна, но общепризнанным является то обстоятельство, что внешние условия эксплуатации сооружения представляют собой случайные про-

цессы. Из всего вышесказанного можно сделать вывод о смешанной (детерминированной и случайной) природе системы: сооружение – грунтовое основание – внешняя среда. Но в то же время, так как в конкретной структуре преобладают жестко установленные связи между конструктивными элементами сооружения, грунтовым основанием и условиями проектирования, все это приводит к значительной детерминированности процесса деформации инженерного сооружения. Подобные условия функционирования сооружения дают возможность сформулировать следующее положение: «из строго детерминированных единичных явлений складывается статистическая закономерность, с помощью которой можно получить достоверные выводы чисто математическими средствами» [2].

Геодезические данные наблюдений за деформациями сооружений обладают уникальной информацией, а именно, они позволяют выявить преобладающую детерминированную составляющую процесса деформации сооружения, что в определенной степени устраняет возможную неопределенность процесса. Это достигается правильностью выбора местоположения контролируемых деформационных марок, т. е. их расположение должно в полной мере характеризовать перемещение как отдельных наиболее характерных точек инженерного сооружения, так и основных его осей. А зная величины перемещения характерных точек, всегда есть возможность рассчитать нужные количественные характеристики любого вида деформации. При этом погрешности геодезических измерений имеют, как правило, случайный характер, а величины их значений, в большинстве случаев, ничтожно малы в сравнении с величинами измеряемых деформаций.

Применение корреляционной теории случайных функций позволяет достаточно корректно осуществить необходимое математическое моделирование процессов деформации инженерных сооружений. При этом, обеспечение необходимых для этого таких условий, как нормальность и линейность необходимой для анализа выборки из ряда геодезических наблюдений за положением де-

формационных марок, дает возможность правомерно использовать известные методы и процедуры оценки параметров математических моделей, гарантируя их математическую строгость [2, 3]. В качестве дополнительного условия, а в нашем случае наблюдается детерминировано-вероятностная природа развития деформации сооружений, для выбора периода основания прогноза из ряда реализаций процесса при построении прогнозной модели необходимо добиться формирования статистической однородности результатов измерений осадок сооружений из различных циклов наблюдений. По существу, данное условие реализует собой статистический критерий репрезентативности объема исследуемой выборки, что приводит к повышению уровня качества и надежности конечных прогнозных значений. В нашем случае математические модели и методы оценивания параметров ориентированы на нормальное распределение описываемых процессов деформаций. Статистическая проверка гипотезы о нормальности распределения значений величины деформации в каждом сечении процесса нами осуществляются приближенным методом с использованием коэффициентов асимметрии и эксцесса [4]. В случаях, когда выявляется аномальность распределения в большей части сечений процесса, производится его центрирование и нормализация путем экспоненциального или логарифмического преобразования.

Линейность процессов деформаций сооружений необходимо оценивать в соответствии с ее неоднозначными понятиями, чтобы правильно определиться с выбором вида математической модели. Предварительная оценка линейности производится по графикам изменения средних значений и дисперсии наблюдаемых перемещений деформационных марок, которые сравниваются с характером развития воздействующих факторов и другого прогнозного фона. Более глубокий анализ линейности основывается на изучении физической сущности моделируемых процессов. При построении кинематических моделей нелинейный тренд, как правило, исключается и учитывается в дальнейшем совместно с линеаризован-

ным центрированным процессом. Если таким путем не удастся учесть нелинейность, то следует линеаризовать процесс известными математическими методами, как это показано нами в работе [3], или же применять нелинейную динамическую модель.

В работах [2, 3, 5] представлены примеры формирования однородных групп на основе последовательного перебора различных реализаций деформационных марок. Первоначально, за однородную группу принимаются все наблюдаемые реализации исследуемого процесса. Далее для выяснения принадлежности i -й реализации $x_e(t_j)$

к той же генеральной совокупности рассчитывается обобщенное расстояние Махалонобиса, а затем определяется коэффициент Хотеллинга с использованием выражения:

$$T^2 = \frac{n}{n+1} D^2, \quad (1)$$

по которой находится статистика:

$$R = \frac{1}{1 + \frac{1}{n-1} T^2}. \quad (2)$$

Статистика R подчиняется B -распределению:

$$B\left(y, \frac{n-N}{2}, \frac{N}{2}\right), N < n. \quad (3)$$

В дальнейшем выделяются однородная и отличающаяся сформированные группы в смысле описанного выше критерия Хотеллинга. Затем отличающаяся группа вновь подвергается анализу на однородность и т. д. Уровень значимости при проверке данной статистической гипотезы выбирается в зависимости от требуемой точности прогнозирования. При этом корректность прогнозирования в последующем возможно выполнить на основе контрольных прогнозов по построенным моделям. Условие, необходимое для выполнения контрольного прогнозирования, заключается в том, чтобы формирование статистически однородных групп исходных данных проводилось только тогда, когда число выбранных циклов

наблюдений для выбора периода основания прогноза было меньше числа реализаций процесса, т. е. числа деформационных марок.

В работе [3] нами представлен подобный процесс формирования статистически однородных групп деформационных марок для основного фрагмента из пяти реализаций. Подобная задача выполнялась и для дополнительного фрагмента с целью продемонстрировать возможные неблагоприятные последствия некачественной группировки деформационных марок также для пяти реализаций процесса. В то же время отдельные этапы осуществления данного процесса формирования статистически однородных групп необходимо уточнить и дополнить.

На начальном этапе отбора необходимого статистически однородного материала для каждого фрагмента из пяти реализаций процесса анализировались графики построенных изображения изолиний осадки сооружения. При этом, в случае близости изолиний деформационных марок и подобных им изолиний в одном и том же цикле наблюдений и к таким же изолиниям в других выбранных циклах наблюдений, принималось решение о допустимой статистической однородности значений осадочных марок. Следующий этап предполагал визуальный анализ построенных графиков осадок деформационных марок с целью выделения участков, для которых обеспечивается линейность развития процесса осадки сооружения. Данный анализ осуществлялся поэтапно для каждого из двух сформированных фрагментов – основного и дополнительного. На последующих этапах уже рассчитывали такие параметры, как средние значения осадки в каждом отдельном цикле наблюдений $\tilde{m}_x(t_j)$, стандарт осадки $\tilde{\sigma}_x(t_j)$ и коэффициент вариации осадки $\tilde{v}_x(t_j)$. Все результаты вычисленных значений параметров осадок деформационных марок из двух сформированных фрагментов – основного и дополнительного – показаны в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Вычисленные значения параметров осадок деформационных марок основного фрагмента

Циклы	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t_j	0,5	1,5	2,5	3,4	4,5	5,5	6,5	13,1	16,8	19,8	22,8
$\tilde{\sigma}_x(t_j)$	2,42	2,77	1,95	1,82	1,79	2,17	2,17	1,79	1,79	1,92	1,95
$\tilde{m}_x(t_j)$	9,8	20,2	45,6	54,4	58,2	59,8	60,8	67,2	72,2	74,2	78,4
$\tilde{\nu}_x(t_j)$	0,249	0,137	0,043	0,039	0,031	0,036	0,034	0,027	0,025	0,026	0,025

Таблица 2

Вычисленные значения параметров осадок деформационных марок дополнительного фрагмента

Циклы	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t_j	0,5	1,5	2,5	3,4	4,5	5,5	6,5	13,1	16,8	19,8	22,8
$\tilde{\sigma}_x(t_j)$	2,17	4,18	5,89	7,08	7,65	7,86	7,90	9,57	10,43	10,43	10,47
$\tilde{m}_x(t_j)$	7,8	19,0	39,2	45,2	47,8	49,4	49,6	54,8	59,6	62,6	66,8
$\tilde{\nu}_x(t_j)$	0,278	0,220	0,150	0,157	0,160	0,159	0,159	0,175	0,175	0,167	0,157

Сходство в изменениях рассчитанных значений величин оценок параметров изучаемой осадки деформационных марок для сформированных групп основного и дополнительного фрагментов проявилось в следующем [3, 6]. И в основном и дополнительном фрагментах выявились изменения в значениях коэффициента вариации осадки $\tilde{\nu}_x(t_j)$ как реакция на понижение строительной нагрузки сооружения уже с 4-го цикла наблюдений. И если величины средних значений осадки деформационных марок в 6, 7 и 8-м циклах наблюдений основного фрагмента и в 5, 6, 7 и 8-м циклах дополнительного фрагмента оказались близко расположенными по отношению друг к другу, то значения коэффициентов вариации существенно изменились по величине, а именно, от величин (0,031–0,036) для основного фрагмента до значений (0,16–0,18) – в дополнительном. По нашему мнению, причиной такого изменения величин коэффициентов вариации осадки явилось возрастание неравномерности осадки самого сооружения, т. е. изменилась степень деформированности фунда-

ментной плиты. В связи с этим можно утверждать, что близость значений величины средних значений осадки деформационных марок в основном и дополнительном фрагментах и степень изменения коэффициентов вариации осадки в выбранных циклах наблюдений можно рассматривать как признак статистической однородности осадки на протяжении этих циклов. Основное различие проявилось лишь в том, что величины коэффициента вариации осадки (0,16–0,18) свидетельствуют о дополнительной опасности и возможности трещинообразования в фундаменте для участка дополнительного фрагмента при достаточно небольшой величине его средней осадки.

Результаты исследования

Предпосылки, необходимые для обоснованного конструктивного применения вероятностно-статистических методов при построении математической модели кинематического типа для изучения исследуемого деформационного процесса, определяются тем, что строящаяся прогнозная модель разраба-

тывается в рамках корреляционной теории случайных функций. В этом случае следует, прежде всего, проверять линейность и нормальность распределения моделируемого процесса, а при необходимости обеспечить выполнение данных условий путем линеаризации и нормализующих преобразований или надлежащим объединением групп реализаций из деформационных марок и корректно выбранных сечений процесса. При этом терминология линейности деформационного процесса для кинематической и динамической моделей интерпретируется нами по-разному. Для кинематической модели под линейностью процесса деформации мы понимаем строго линейную функциональную зависимость вариации изучаемой величины осадки деформационных марок от изменения временного фактора [3]. В динамических моделях понятие линейности предполагает выполнение условия сохранения принципов пропорциональности между входным воздействием и выходным сигналом; при этом выполнение подобного условия осуществляется с помощью линейного оператора. В качестве примера простейшего линейного оператора может выступать экспонента. Особое внимание должно уделяться размещению наблюдаемых деформационных марок. Предполагается, что подобное размещение должно включать наиболее важные, т. е. исключительно характерные точки, отражающие основные проявления деформации или наоборот, наиболее «слабые» узлы системы «сооружение – грунтовое основание – внешняя среда». Местоположение этих характерных точек и «слабых» узлов формируется на первоначальном этапе перед началом строительства сооружения на основе имеющейся априорной информации, например, результатов предварительных исследований неоднородности состава грунтов в основании под сооружение, расчетных значений возможных нагрузок на основание, расчетной пространственной жесткости сооружения и т. п. При этом следует учитывать и то обстоятельство, какие нужные количественные характеристики деформации подлежат изучению.

Среднее значение и коэффициент вариации являются двумя различными статистическими показателями, но они могут быть связаны друг с другом, особенно при анализе изменчивости данных в выборке по отдельным циклам наблюдений [7, 8]. Среднее значение определяется как сумма всех значений результатов измерений (количество реализаций процесса) по отношению к количеству этих реализаций как в отдельном цикле, так и по всем циклам наблюдений. Обобщенное среднее по всем циклам наблюдений в этом случае характеризует преобладающую тенденцию в оценке распределения исходных данных, т. е. показывает, где предположительно располагается обобщенная величина из всех реализаций процесса. Коэффициент вариации, определяемый как величина степени изменчивости в виде отношения средней квадратической погрешности к арифметическому среднему в отдельных циклах наблюдений, характеризует уровень изменчивости величин осадок деформационных марок в зависимости от степени неравномерности этих осадок, т. е. чем больше величина коэффициента вариации, тем выше степень этой неравномерности. Наличие высокого коэффициента вариации может также указывать на необходимость дополнительного исследования для более полного понимания причин такой неравномерности осадок и корректной интерпретации результатов анализа. В то же время существует определенная связь между средним значением и коэффициентом вариации, которая заключается в том, что высокий уровень изменчивости данных (высокий коэффициент вариации) может указывать на то, что среднее значение выборки менее репрезентативно или вариативно. Например, если у выборки очень высокий коэффициент вариации, это может означать, что среднее значение не является хорошим показателем центральной тенденции из-за большого разброса данных. Следовательно, при анализе данных стоит обращать внимание как на среднее значение, так и на коэффициент вариации, чтобы полнее оценить особенности выборки и изменчивость данных.

Применение дисперсионного анализа для формирования статистически однородных

групп деформационных марок из различных циклов наблюдений для корректного конструирования математической модели кинематического типа при условии выполнения нормальности и линейности является достаточно эффективным подходом, так как обеспечивает хорошую точность оценок параметров, высокую мощность теста (возможность обнаружения статистически значимых различий) и позволяет сделать более информативные выводы [9]. Для проведения анализа дисперсий при исследовании статистической однородности измерений в качестве воздействующего фактора выбирался временной фактор между отдельными циклами измерений. Анализ включал следующие шаги:

– формулирование гипотез (нулевая: средние значения измерений в различных циклах равны, т. е. временной фактор не оказывает существенного влияния на изменение средних – *выборка является статистически однородной*; альтернативная: средние значения измерений в различных циклах различны);

– проведение дисперсионного анализа: вычисление средних значений результатов измерений осадок в каждом цикле и обобщенного среднего; расчет межгрупповой дисперсии (межгрупповой суммы квадратов) и внутригрупповой дисперсии (внутригрупповой суммы квадратов); вычисление статистики $F_{\text{выч}}$;

– принятие решения: осуществляется сравнение рассчитанного значения статистики $F_{\text{выч}}$ с допустимой критической величиной, определенной по таблице распределения Фишера для выбранного уровня значимости (как правило, значение выбирается: $\alpha = 0,05$) и степеней свободы. В случае, если расчетное значение статистики $F_{\text{выч}}$ оказывается меньше критического $F_{\text{крит}}$. – нулевая гипотеза принимается, т. е. временной фактор не оказывает существенного влияния на изменение средних – *выборка из всех реализаций процесса является статистически однородной*. Если же расчетное значение статистики превышает критическое значение, то нулевая гипотеза отвергается как свидетельство о наличии статистически существенных различий между

средними значениями измерений в различных циклах наблюдений. В этом случае желательнее подобрать новую группу деформационных марок для последующего исследования.

Сформулированная выше последовательность действий для выявления статистически однородной выборки была реализована в процессе проведения дисперсионного анализа в среде Excel, результаты которого представлены на рис. 1 и 2.

С одной стороны, как было отмечено выше, средние значения осадок деформационных марок основного фрагмента в 6, 7 и 8-м циклах наблюдений оказались близки по отношению друг к другу. В то же время достаточно небольшие значения коэффициентов вариации осадки (0,031–0,036), наблюдавшиеся начиная с 4-го цикла и в последующем преимущественно снижающиеся (см. табл. 1), свидетельствуют о низком уровне деформируемости выбранного для исследования основного фрагмента фундаментной плиты. Это позволяет сделать вывод о достаточно корректном выборе циклов наблюдений для периода основания прогноза при построении прогнозной математической модели. Однако, при этом следует понимать, что рассчитанные средние значения осадок деформационных марок еще не представляют собой объективную информацию и недостаточно полно отражают сформированные группы марок по отдельным циклам измерений, так как не учитываются их разброс и разнообразие. Эту недостающую информацию позволяют дополнить рассчитанные значения коэффициентов вариации осадки. С другой стороны, невысокие значения коэффициентов вариации осадки, как характеристика степени неравномерности осадки [10], свидетельствуют о более высокой точности прогнозирования по построенной прогнозной модели (при использовании для аппроксимации тренда в виде экспоненциальной зависимости, результаты долгосрочного прогнозирования для основного фрагмента очень хорошо укладываются в предвычисленный коридор погрешности прогноза [3, 6].

ОДНОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ - ОСНОВНОЙ ФРАГМЕНТ					
Параметры	Номера осадочных марок				
	22	23	24	25	26
Цикл/время	6/4,5	60	60	57	58
	7/5,5	62	62	59	59
	8/6,5	63	63	60	60
ГИПОТЕЗА=групповые средние равны общей средней (мат. ожид. близки в циклах)					
X6/4,5: сред. в цикле	58,20				
X7/5,5: сред. в цикле	59,80				
X8/6,5: сред. в цикле	60,80				
Хср. - общее:	59,600				
Квадрат откл-я от общ.ср.	0,1600	0,1600	6,7600	12,9600	2,5600
	5,7600	5,7600	0,3600	6,7600	0,3600
	11,5600	0,1600	2,5600	0,1600	
Сумма кв.откл.-ий - общее	11,5600				
сумма кв.откл. в группах	3,2400	3,2400	1,4400	4,8400	0,0400
	4,8400	4,8400	0,6400	7,8400	0,6400
	4,8400	4,8400	0,6400	7,8400	0,6400
Внутри груп.сум.кв.откл.-ий	11,5600				
Межгруп.сум.кв.откл.-ий	11,5600				
Проверка	11,5600				
Числ.степ.своб. - полн	14	число всех вариан.-1			
Числ.степ.своб. - межгруп.	2	число всех групп - 1			
Числ.степ.своб.внутригруп.	12	число всех вар.-числ.груп			
Ср.кв.драт между групп.	8,6000				
Ср.кв.драт внутри групп	4,2000				
Fвыч.	2,0476				
Fкрит.	3,8853				
Вывод: Fвыч. < Fкрит.	Матем. ожидания в циклах близки друг к другу - однородность выборки подтверждается				

Рис. 1. Результаты дисперсионного анализа в Excel для основного фрагмента

Для дополнительно фрагмента сложилась несколько иная картина. Местоположение наблюдаемых деформационных марок было выбрано на мало осевшем участке фундаментной плиты сооружения. Однако, при этом для данного участка оказалось характерным в разных местах наличие зон сгущенных изолиний. В свою очередь, это обстоятельство привело к тому, что, с одной стороны, подобное местоположение деформационных марок позволило сформировать статистически однородную группу из марок, так как в результате выполненных расчетов величины средних значений осадок в 5, 6, 7 и 8-м циклах оказались близко расположенными по отношению друг к другу (см. табл. 2). С другой стороны, выявилось существенно значимое влияние неравномерности осадки сооружения на сформированную группу марок дополнительного фрагмента, т. е. непосредственно возросла степень деформированности фрагмента – возрастание коэффициента вариации осадки до величины (0,16–0,18). И как результат, с одной стороны, – близость средних значений обеспечила правильность и корректность выбора периода основания прогноза для построения прогнозной математической модели; с другой, – возрастание коэффициента вариации осадки (как возросшая неравномерная деформированность фрагмен-

та) не позволило построить корректную прогнозную модель, т. е. тем самым ухудшилось качество прогнозирования по прогнозной модели (результаты долгосрочного прогноза для дополнительного фрагмента лежат в пределах удвоенного стандарта предвычисленного коридора погрешности прогноза [6]).

ОДНОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ - ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ						
Параметры	Номера осадочных марок					
	33	34	35	36	37	
Цикл/время	5/3,4	53	51	37	39	46
	6/4,5	56	54	39	41	49
	7/5,5	58	56	40	43	50
	8/6,5	58	56	40	43	51
ГИПОТЕЗА=групповые средние равны общей средней (мат. ожид. близки в циклах)						
R=групповые средние отличаются от общей следней (мат. ожид. различаются в циклах)						
X5/3,4: сред. в цикле	45,20					
X6/4,5: сред. в цикле	47,80					
X7/5,5: сред. в цикле	49,40					
X8/6,5: сред. в цикле	49,60					
Хср.общ:	48,000					
Квадр.откл. от общ.ср.	25,000	9,000	121,000	81,000	4,000	
	64,000	36,000	81,000	49,000	1,000	
	100,000	64,000	64,000	25,000	4,000	
	100,000	64,000	64,000	25,000	9,000	
Сумма кв.откл. общее	11,5600					
сумма кв.откл. в группах	60,8400	33,6400	67,2400	38,4400	0,6400	
	67,2400	38,4400	77,4400	46,2400	1,4400	
	73,9600	43,5600	88,3600	40,9600	0,3600	
	70,5600	40,9600	92,1600	43,5600	1,9600	
Внутр.груп.сум.кв.откл.	11,5600					
Межгруп.сум.кв.откл.	62,0000					
Проверка	11,5600					
Числ.степ.своб.полн	19	число всех вариан.-1				
Числ.степ.своб.межгруп.	3	число всех групп - 1				
Числ.степ.своб.внутригруп.	16	число всех вар.-числ.груп				
Ср.кв.драт между групп.	20,6667					
Ср.кв.драт внутри групп	58,0000					
Fвыч.	0,3563		Fкрит.	3,2389		
Вывод: Fвыч. < Fкрит.	Матем. ожидания в циклах близки друг к другу - однородность выборки подтверждается					

Рис. 2. Результаты дисперсионного анализа в Excel для дополнительного фрагмента

Заключение

Интерпретация коэффициента вариации. Для построения математической модели при прогнозировании деформаций сооружения при выборе периода основания прогноза рост или понижение величины коэффициента вариации в сформированной выборке дает следующий результат: рост коэффициента вариации указывает на увеличение изменчивости деформаций сооружения во времени. Это может быть связано с различными факторами, например, такими как произошедшие изменения в условиях эксплуатации сооружения, воздействие внешних факторов или другие причины. Поэтому в ряде случаев оказывается целесообразным учесть возможное увеличение изменчивости в математической модели для более точного прогнозирования, т. е. желательно сформировать другую группу

деформационных марок при проведении дальнейшего исследования. Понижение же значения коэффициента вариации в выборке означает уменьшение изменчивости деформаций сооружения во времени. Это может быть связано, например, с улучшением условий эксплуатации сооружения, выполнением принятых мер по снижению степени изменчивости или корректным выбором группы деформационных марок для более точного прогнозирования.

Интерпретация средних значений: если средние значения оказались близки в различных циклах наблюдений, это может свидетельствовать о стабильности или однородности средних показателей в этих циклах, что предполагает использование сформированной выборки из деформационных марок для корректного выбора периода основания прогноза при построении кинематической мо-

дели. И в то же время, необходимо помнить, что средние значения еще недостаточно полно описывают исходные данные и не учитывают разброс и разнообразие значений. При анализе данных стоит обращать внимание как на средние значения, так и на величину коэффициента вариации, чтобы полнее оценить особенности выборки и изменчивость данных.

Финансирование

Исследования проведены в процессе выполнения государственного задания Минобрнауки России (тема «Автоматический геодезический мониторинг природной среды и инженерных сооружений средствами малобюджетных высокоточных датчиков вертикальных перемещений в условиях Крайнего Севера», № FEFS-2023-0003).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пособие к СНиП 2-02-01–83 (Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений) НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. – М. : Стройиздат, 1984. – 376 с.
2. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений : монография. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 256 с. – ISBN 978-5-87693-290-7. – EDN SAQQCR.
3. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С. Математическое моделирование. Анализ и прогнозирование деформаций сооружений по геодезическим данным на основе кинематической модели : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 91 с. – ISBN 978-5-87693-505-2. – EDN QNQDXD.
4. Румшицкий Л. З. Элементы теории вероятностей. – М. : Наука. – 1971. – 256 с.
5. Khoroshilov V. S., Kobeleva N. N., Sycheva N. V. Mathematical modeling of the high-rise buildings deformation development process in Moscow (Vosstania square) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development" - Hydrometeorological and Geodetic Research in the Building Area, Kislovodsk, 01–05 октября 2019 года. Vol. 698, 4. – Kislovodsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 044004. – DOI 10.1088/1757-899X/698/4/044004. – EDN QWILTL.
6. Хорошилов В. С., Квашенко И. Ю., Носков М. Ф. Особенности выбора деформационных марок для построения кинематической модели при изучении деформаций сооружений // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2013. – № 4/С. – С. 58–61. – EDN UIYCCD.
7. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М. : Высшая школа, 2003. – 523 с. – ISBN 5-06-004214-6. – EDN QJLKXP.
8. Николаев С. А. Статистические исследования осадок инженерных сооружений. – М. : Недра, 1983. – 112 с.
9. Шеффе Г. Дисперсионный анализ / пер. с англ. Б. А. Севастьянова и В. П. Чистякова. – М. : Госуд. изд-во «Физико-математическая литература». 1963. – 625 с.
10. Прогноз скорости осадок оснований сооружений / Под. ред. Н. А. Цитовича. – М. : Стройиздат, 1967. – 239 с.

Об авторах

Валерий Степанович Хорошилов – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры космической и физической геодезии.

Наталья Николаевна Кобелева – кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии.

Получено 18.12.2024

© В. С. Хорошилов, Н. Н. Кобелева, 2025

Formation of statistically homogeneous groups of initial data to improve the quality of predictive mathematical models of kinematic type

V. S. Khoroshilov¹✉, N. N. Kobeleva¹

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail Khoroshilovvs@mail.ru

Annotation. One of the key challenges when constructing predictive mathematical models, including those of a kinematic type, is the heterogeneity of raw data. Heterogeneity can be expressed in such ways as variability, presence of outliers, asymmetric distributions, and other complexities that significantly reduce forecast accuracy and complicate the modeling process. To enhance model performance, it is essential to divide raw data into groups sharing similar statistical characteristics, which helps minimize errors introduced by diverse sources and improves result stability. It is particularly important when dealing with heterogeneous datasets, when traditional analysis methods often prove insufficient for uncovering hidden patterns within deformation processes. Statistical homogeneity of individual implementations of observed deformation marks implies a deterministic and probabilistic nature of the engineering structure deformation process, and its correct application in developing a predictive mathematical model must be ensured by a statistical criterion of sample representativeness. The stages of conducting research based on variance analysis aimed at correctly identifying groups of statistically homogeneous initial data, which allows further improvement of the quality of predictive mathematical models, are discussed in the paper. For this purpose, the possibilities of using key statistical indicators such as correlation coefficients, variation ratios, dispersion magnitudes, mean values, and others are investigated.

Keywords: deformations of structures, analysis of variance, statistically homogeneous data, arithmetic averages, coefficient of variation, mathematical modeling, forecast model

REFERENCES

1. Building regulations 2-02-01-83 (1984). *Posobie k SNIp 2-02-01-83 (Posobie po proektirovaniyu osnovaniy zdaniy i sooruzheniy) [Manual for designing foundations of buildings and structures]*: Moscow: NIIOSP im. N.M. Gersevanov.
2. Gulyaev, Yu. P. (2008). *Prognozirovanie deformatsii sooruzheniy na osnove rezul'tatov geodezicheskikh nablyudeniy [Forecasting the deformation of structures based on the results of geodetic observations]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 256 p. ISBN 978-5-87693-290-7. EDN SAQQCR. [in Russian].
3. Gulyaev, Yu. P. Khoroshilov, V. S. (2012). *Matematicheskoe modelirovanie. Analiz i prognozirovaniye deformatsiy sooruzheniy po geodezicheskim dannym na osnove kinematicheskoy modeli [Mathematical modeling. Analysis and forecasting of deformations of structures using geodetic data based on a kinematic model]*: Novosibirsk: SSGA, Publ., 91 p ISBN 978-5-87693-505-2. EDN QNQDXD. [in Russian].

4. Rumshiskii, L. Z. (1971). *Elementy teorii veroyatnostey [Elements of probability theory]*: Moscow: Science: 256 p. [in Russian].
5. Khoroshilov V. S., Kobeleva N. N., Sycheva N. V. (2019) Mathematical modeling of the high-rise buildings deformation development process in Moscow (Vosstania square) *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 698 , 044004. DOI 10.1088/1757-899X/698/4/044004. EDN QWILTL.
6. Khoroshilov, V. S., Kvashenko, I. Yu. & Noskov, M.F. (2013). *Osobennosti vybora deformatsionnykh marok dlya postroeniya kinematicheskoy modeli pri izuchenii deformatsiy sooruzheniy [Features of the choice of deformation marks for building a kinematic model when studying the deformations of structures]*. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4/S, 58–61 EDN UIYCCD [in Russian].
7. Gmurman, V. E. (2003). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Probability Theory and Mathematical Statistics]*: Moscow: Graduate School: 523 p. ISBN 5-06-004214-6. EDN QJLKXP [in Russian].
8. Nikolaev, S. A. (1983). *Statisticheskie issledovaniya osadok inzhenernykh sooruzheniy [Statistical studies of settlement of engineering structures]*: Moscow: Bosom: 112 p. [in Russian].
9. Scheffe, G. (1963). *Dispersionnyy analiz [Dispersion analysis]*. (B. A. Sevast'yanov and V. P. Chistyakov, Trans). Moscow: Publishing house "Physical and Mathematical Literature". 625 p. [in Russian].
10. Tsitovich, N. A. Ed. (1967). *Prognoz skorosti osadok osnovaniy sooruzheniy [Forecast of the rate of settlement of foundations of structures]*. Moscow: Stroyizdat: 239 p. [in Russian].

Author details

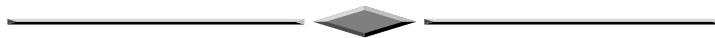
Valery S. Khoroshilov – D. Sc., Associate Professor, Professor of the Department of Space and Physical Geodesy.

Natalia N. Kobeleva – Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy.

Received 18.12.2024

© V. S. Khoroshilov, N. N. Kobeleva, 2025

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ



УДК 528.837

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-26-31

Анализ влияния атмосферы на пространственное разрешение сканирующих съемочных систем летательных аппаратов

Г. В. Алиева¹✉, О. А. Гусейнов¹

¹ Национальное Аэрокосмическое Агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

e-mail: gunelcelilova@mail.ru

Аннотация. Исследовано влияние функции передачи модуляции (ФПМ) различных факторов на пространственно-угловое разрешение бортовых съемочных систем. Отмечено, что пространственное разрешение бортовых съемочных систем, формирующих изображения, в основном ограничивается ФПМ турбулентности, ФПМ аэрозоля и ФПМ оптики и электроники. При этом целесообразным пределом улучшения ФПМ оптики и электроники является ФПМ аэрозоля. Показано наличие такого вида функции взаимосвязи между расстоянием до объекта и показателем аэрозольной экстинкции, при которой ФПМ аэрозоля достигает минимума. Рекомендовано избегать такого режима на практике.

Ключевые слова: пространственное разрешение, модуляционная функция, бортовые системы, аэрозоль, БВС

Для цитирования:

Алиева Г. В., Гусейнов О. А. Анализ влияния атмосферы на пространственное разрешение сканирующих съемочных систем летательных аппаратов // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 26–31. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-26-31

Введение

Как отмечается в работе [1], применение беспилотных воздушных судов (БВС) расширило методы и технологии сбора пространственной информации, а также раскрыло новые возможности для моделирования, поскольку БВС может проводить съемку исследуемых объектов с разных ракурсов и высот. Указанное преимущество также расширяет возможности геоинформационного анализа данных дистанционного зондирования, позволяет повысить информативность геоинформационного и геотехнического мониторинга. В последние десятилетия беспилотные летательные аппараты широко применяются в

пространственной съемке и моделировании [2–4]. Согласно [5], для анализа качества изображений, получаемых с помощью беспилотных воздушных судов (БВС), используют такие методы, как анализ функции ФПМ (функция передачи модуляции); метод краевой реакции (edge response); метод GSD (пространственное разрешение).

Вместе с тем, качество снимков, получаемых с помощью БВС, низко по сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами, так как при тестовой оценке качества снимков БВС используется показатель GSD, который не учитывает контрастные характеристики изображения. В общем случае ФПМ (функция передачи модуляции) определяется как [5]

$$\text{ФПМ} = \frac{\text{модуляция в изображении}}{\text{модуляция в объекте}}. \quad (1)$$

В качестве примера на рис. 1 приведен вид функции ФПМ сенсора IXM-100400 nm [5].

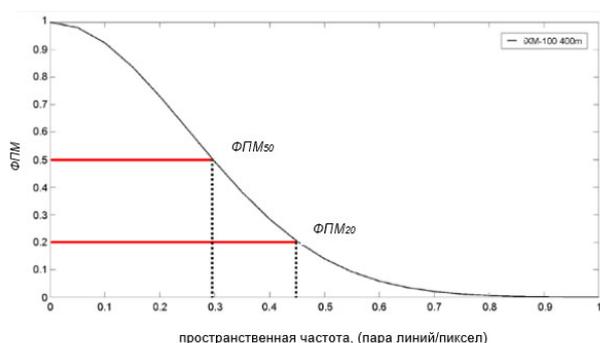


Рис. 1. Кривая ФПМ сенсора IXM-100400 nm [5]

Согласно [6], в качестве импульсной реакции космических оптических съемочных систем используется функция расширения (spread) точки, включающая такие явления, как дифракция, абберация, искажения (смаз) из-за движения, различные воздействия в течение времени интегрирования.

Как отмечается в работах [7, 8], в съемочных системах, в которых ограничивающим

$$MTF = \exp \left[-a_1 \cdot f_a^{5/3} C^2 \lambda^{-1/3} z \left[1 - \left(\frac{1}{b} \right) \left(\frac{\lambda f_a}{D} \right) \right] \right], \quad (3)$$

где $\left(\frac{1}{b} \right)$ равен 1 в близкой зоне и 0,5 в дальней зоне; D – диаметр диафрагмы.

Что касается аэрозоля, то как ФПМ аэрозоля, так и ФПМ турбулентности должны

$$MTF_a = \begin{cases} \exp \left[-A_a - S_a Z \frac{f_a}{f_{ac}} \right]^2; & \text{при } f_a \leq f_{ac}, \\ \exp \left[(-A_a + S_a) Z \right]; & \text{при } f_a \gg f_{ac} \end{cases}, \quad (4)$$

где A, S – коэффициенты абсорбции и рассеяния; f_{ac} – частота аэрозоля.

Целью настоящего исследования является изучение выбора высоты съемки с помощью съемочной системы в зависимости от показателя

экстинкции E , определяемого в данном случае как

$$E = A_a + S_a$$

фактором качества являются шумы, искажения могут быть частично устранены путем применения рекурсивных или медианных фильтров. Что касается влияния атмосферы на качество изображения, то здесь основными влияющими факторами являются турбулентность среды, рассеяние и поглощение мелких частей (аэрозоля) [9]. Турбулентность среды приводит к наклону фронта волны, что создает эффект смещения на плоскости изображения. Спектр мощности таких явлений обычно ограничивается несколькими сотнями герц.

Смаз изображения из-за турбулентности характеризуется сферически волновым ФПМ

$$\text{ФПМ} = \exp \left[-a_1 \cdot f_a^{5/3} C^2 \lambda^{-1/3} Z \right], \quad (2)$$

где $a_1 = \left(\frac{3}{8} \right) \cdot 57,73$; f_a – пространственно-угловая частота съемочной системы; C_n – структурный коэффициент индекса рефракции; λ – длина волны оптической радиации; z – расстояние до объекта.

Отметим, что формула (2) соответствует случаю длительной экспозиции. В случае короткой экспозиции ФПМ может быть оценена по формуле [6]

быть рассмотрены в качестве частей ФПМ системы. Следовательно, ФПМ всей системы определяется как перемножение ФПМ турбулентности, аэрозоля и аппаратуры.

Согласно [9], ФПМ аэрозоля определяется как

применительно к условию $f_a \gg f_{ac}$.

Материалы и методы

Выражение (4) показывает, что высокие пространственные частоты ФПМ аэрозоля ограничиваются атмосферным пропусканием. В случае чистого неба пропускание съемочной системы ограничивается ФПМ турбулентности. Общий вид кривых нормализованных ФПМ турбулентности (1), ФПМ аэрозоля (2); ФПМ оптики и электроники (3) и ФПМ всей системы (4) показан на рис. 2.

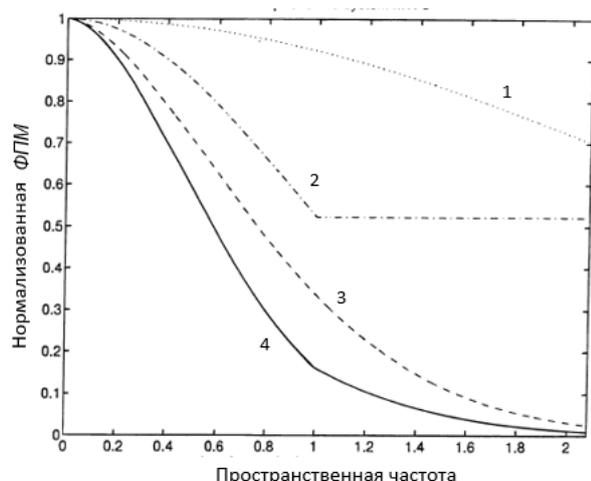


Рис. 2. Нормализованные кривые ФПМ турбулентности (1); аэрозоля (2); оптики и электроники (3); всей системы (4) [5]

Исследование зависимости ФПМ аэрозоля важно с той точки зрения, что этот показатель в принципе определяет предел для ФПМ оптики и электроники в плане их совершенствования. Очевидно, что ФПМ оптики и электроники целесообразно усовершенствовать вплоть до ФПМ ясного неба, но не более, чем ФПМ турбулентности.

Вместе с тем, присутствие аэрозоля в атмосфере является объективным фактом, и актуальность исследования ФПМ аэрозоля в зависимости от взаимосвязи между показателями E и z заключается в поиске условий достижения максимального пространственного разрешения создаваемой дистанционной оптической съемочной системы в усредненном выражении.

Допустим наличие следующих упорядоченных множеств:

$$E = (E_1, E_2, E_3, \dots, E_{n-1}, E_n), \quad (5)$$

где

$$E_i = E_{i-1} + \Delta E; \quad \Delta E = const; \quad i = \overline{1, n}; \quad E_0 = 0.$$

$$z = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_{n-1}, z_n), \quad (6)$$

где

$$z_j = z_{j-1} + \Delta z; \quad \Delta z = const; \quad j = \overline{1, n}; \quad z_0 = 0.$$

Целью исследования является выбор такой функции взаимосвязи

$$z_j = \psi(E_i), \quad (7)$$

при которой дискретный функционал F_g

$$F_g = \frac{1}{n} \sum_{i,j=1}^n \exp[-E_i z_j(E_i)] \quad (8)$$

достиг бы экстремума.

Для решения данной задачи воспользуемся аналоговой интерпретацией дискретной модели (5)–(8), допустив наличие непрерывной функции

$$z = \psi(E), \quad (9)$$

а также следующего целевого функционала F

$$F = \frac{1}{\Delta E} \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \exp[-Ez(E)] dE, \quad (10)$$

где

$$\Delta E = E_{\max} - E_{\min}. \quad (11)$$

Для решение вышеуказанной оптимизационной задачи применительно к искомой функции $z(E)$ примем следующее ограничительное условие

$$\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} z(E) dE = C_1; \quad C_1 = const. \quad (12)$$

Смысл условия (12) заключается в ограничении класса непрерывных и дважды дифференцируемых функций для выделения подкласса функции, удовлетворяющих условию (12) для поиска оптимального вида $z(E)$.

С учетом выражений (10) и (12) составим целевой функционал безусловной вариационной оптимизации F_0

$$F_0 = \frac{1}{\Delta E} \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \exp[-Ez(E)] dE + \gamma \left[\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} z(E) dE - C_1 \right], \quad (13)$$

где γ – множитель Лагранжа.

Согласно [10], решение задачи (13) должно удовлетворить условию

$$\frac{d \left\{ \frac{1}{\Delta E} \exp[-Ez(E)] + \gamma z(E) \right\}}{dz(E)} = 0. \quad (14)$$

Из условия (14) находим

$$-\frac{1}{\Delta E} \exp[-Ez(E)] + \gamma = 0. \quad (15)$$

Из выражения (15) получим

$$\exp[-Ez(E)] = \frac{\gamma \Delta E}{E}. \quad (16)$$

Логарифмируя выражение (16), имеем

$$z(E) = \frac{1}{E} \ln \frac{E}{\gamma \Delta E}. \quad (17)$$

При решении (17) функционал F_0 достигает минимума, так как производная выражения (15) всегда является положительной величиной.

Для вычисления множителя Лагранжа γ воспользуемся выражениями (12) и (17). Имеем

$$\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{1}{E} \ln \frac{E}{\gamma \Delta E} dE = C_1. \quad (18)$$

Из выражения (18) находим

$$\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{1}{E} \ln EdE - \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{1}{E} \ln \frac{E}{\gamma \Delta E} dE = C_1. \quad (19)$$

Из выражения (19) получим

$$\ln(\gamma \Delta E) \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{dE}{E} = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{1}{E} \ln EdE - C_1. \quad (20)$$

Из выражения (20) находим

$$\ln(\gamma \Delta E) = \frac{\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{1}{E} \ln EdE - C_1}{\ln \frac{E_{\max}}{E_{\min}}}. \quad (21)$$

Из выражения (21) окончательно получим

$$\gamma = \frac{1}{\Delta E} \exp \left[\frac{\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{1}{E} \ln EdE - C_1}{\ln \frac{E_{\max}}{E_{\min}}} \right]. \quad (22)$$

Таким образом, решением задачи являются выражения (17), (22). Однако такое решение соответствует достижению минимума средней величины ФПМ аэрозоля, поэтому на практике следует избегать взаимосвязи (17).

Обсуждение

В настоящей статье исследовано влияние ФПМ таких факторов, как турбулентность, аэрозоль, оптика и электроника на пространственно-угловое разрешение бортовых съемочных систем. Определено, что ФПМ атмосферного аэрозоля имеет особую важность, так как в реальной атмосфере аэрозоль всегда существует, а пространственно-частотные искажения, вносимые турбулентностью, намного ниже, чем подобные искажения, вносимые ФПМ аэрозоля. Сформулирована и решена задача поиска оптимального вида взаимосвязи расстояния до объекта и показателя экстинкции атмосферного аэрозоля. В результате решения оптимизационной задачи установлен вид такой взаимосвязи указанных показателей, при котором ФПМ аэрозоля достигает минимума. Рекомендовано на практике избегать такой взаимосвязи указанных показателей.

Основные результаты и выводы

1. Определено, что основными факторами, ограничивающими пространственное разрешение бортовых съемочных систем, формирующих изображения, являются ФПМ турбулентности, ФПМ аэрозоля и ФПМ оптики и электроники.

2. Определено, что целесообразным пределом улучшения ФПМ оптики и электроники является ФПМ аэрозоля.

3. Определено наличие такого вида функции взаимосвязи между расстоянием до объекта и показателем аэрозольной экстинкции, при которой ФПМ аэрозоля достигает минимума. Рекомендовано избегать такого режима на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ознамец В. В. Пространственная съемка и моделирование с использованием беспилотных летательных аппаратов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2020. – № 1 (30). – С. 83–89. – DOI 10.21777/2500-2112-2020-1-83-91. – EDN LTSMOB.
2. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. – М. : Картоцентр-Геодиздат, 2001. – 224 с. – EDN RQISMN.
3. Цветков В. Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. – 2012. – № 4. – С. 54–58. – EDN QZQRUZ.
4. Цветков В. Я., Ознамец В. В., Филатов В. Н. Определение условной береговой линии по снимкам беспилотного летательного аппарата // Информация и космос. – 2019. – № 1. – С. 126–131. – EDN VXRJGC.
5. Kim J. H., Sung S. M. Quality analysis of unmanned aerial vehicle images using a resolution target // Applied Sciences (Switzerland). – 2024. – Vol. 14, No. 5. – P. 2154. – DOI 10.3390/app14052154. – EDN WARXCL.
6. Pedrotti F. L., Pedrotti L. M. Introduction to Optics, 3rd ed. // Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2017. – P. 640. – ISBN 9781108552493. – DOI 10.1017/9781108552493.
7. Blanc P., Wald L. A review of earth-viewing methods for in-flight assessment of modulation transfer function and noise of optical spaceborne sensors // Working paper. – 2009. – P. 1–38.
8. Holst G. C. Electro-optical imaging system performance // JCD press. Winter park. SPIE optical engineering press. WA. – 1995. – P. 371–372.
9. Sadot D., Kopeika N. S., Rotman S. R. Target acquisition modeling for contrast-limited imaging: effects of atmospheric blur and image restoration // J. Opt. Soc. Am. – 1995. – Vol. 12. – p. 2401–2414.
10. Эльсгольц Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М. :Наука, 1974. – 432 с.

Об авторах

Алиева Гюнель Вагиф гызы – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела НИИ Космических исследований природных ресурсов.

Гусейнов Омар Анар оглы – аспирант Национального Аэрокосмического Агентства.

Получено 01.11.2024

© Г. В. Алиева, О. А. Гусейнов, 2025

Analysis of atmosphere impact on spatial resolution of scanning imaging systems in aircraft

G. V. Aliyeva¹✉, O. A. Huseynov¹

¹National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic

e-mail: gunelcelilova@mail.ru

Abstract. The influence of various factor modulation transfer function (MTF) on spatial and angular resolution of airborne imaging systems is investigated. It is noted that the spatial resolution of airborne imaging systems forming images is primarily limited by MTF turbulence, aerosol, optics and electronics. In this case a reasonable limit for improving the MTF optics and electronics is the MTF aerosol. A specific type of relationship between object distance and aerosol extinction coefficient, when the MTF aerosol reaches its minimum value, is demonstrated. It is recommended to avoid such conditions in practice.

Keywords: spatial resolution, modulation function, on-board systems, aerosol, UAV

REFERENCE

1. Oznamets, V. V. (2020). Spatial surveying and modeling using unmanned aerial vehicles. Educational resources and technologies. No. 1 (30) pp. 83–89. DOI 10.21777/2500-2112-2020-1-83-91. EDN LTSMOB [in Russian].
2. Savinykh, V. P., & Tsvetkov, V. Ya. (2001). Geoinformatsionnyy analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Geoinformation analysis of remote sensing data]. M.: Cartocenter-Geodesizdat, 224 p. EDN RQISMN [in Russian].
3. Tsvetkov, V. Ya. (2012). Geoinformation geotechnical monitoring *Nauki o Zemle [Earth Sciences]*. No. 4. pp. 54–58. EDN QZQRUZ [in Russian].
4. Tsvetkov, V. Ya., Oznamets, V. V., & Filatov, V. N. (2019) Determination of a conditional coastline from unmanned aerial vehicle images *Informatsiya i kosmos [Information and space]*. No 1. P. 126–131. EDN VXRJGC.
5. Kim, J. H., & Sung, S. M. (2024). Quality analysis of unmanned aerial vehicle images using a resolution target *Applied Sciences (Switzerland)*. Vol. 14, No. 5. P. 2154. DOI 10.3390/app14052154. EDN WARXCL.
6. Pedrotti, F. L., & Pedrotti, L. M. (2017). Introduction to Optics, 3rd ed.; *Cambridge University Press: Cambridge, UK* P. 640. ISBN 9781108552493. DOI 10.1017/9781108552493.
7. Blanc, P., & Wald, L. (2009). A review of earth-viewing methods for in-flight assessment of modulation transfer function and noise of optical spaceborne sensors *Working paper*. p. 1–38.
8. Holst, G. C. (1995). Electro-optical imaging system performance *JCD press. Winter park. SPIE optical engineering press. WA*. Pp. 371–372.
9. Sadot, D., Kopeika, N. S., & Rotman, S. R. (1995). Target acquisition modeling for contrast-limited imaging: effects of atmospheric blur and image restoration *J. Opt. Soc. Am.* Vol. 12. November Pp. 2401–2414.
10. Elsgolts, L. E. (1974). *Differentsial'nyye uravneniya i variatsionnoye ischisleniye [Differentsial'nyye uravneniya i variatsionnoye ischisleniye]* M. Science. P. 432.

Author details

Aliyeva Gunel Vagif kyzy – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of the Scientific Research Institute for Space Research of Natural Resources.

Huseynov Omar Anar oglu – Ph. D. Student, National Aerospace Agency.

Received 01.11.2024

© G. V. Aliyeva, O. A. Huseynov, 2025

УДК 528.721.221.6

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-32-41

Оценка параметров деревьев на основе данных воздушного лазерного сканирования в смешанных лесах Среднего Предуралья

А. А. Бурдин¹, Д. А. Богатырев¹, А. В. Тарасов¹, С. В. Пьянков^{✉1}

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Российская Федерация

e-mail: pyankovsv@gmail.com

Аннотация. В статье представлены первые результаты подеревной оценки характеристик древостоев (количества, высоты и диаметра деревьев) в смешанных лесах Среднего Предуралья с использованием данных воздушного лазерного сканирования (ВЛС). На примере участка смешанного леса в Березовском районе Пермского края площадью 2,52 га выполнен сплошной пересчет деревьев на местности, а также проведена съемка с беспилотного воздушного судна (БВС) воздушным лазерным сканером (лидаром). На основе полученного облака точек средствами пакета LidR выполнены сегментация и идентификация вершин деревьев. В результате сегментации на исследуемом участке по данным ВЛС выделено 962 дерева, что на 10 % меньше их реального количества. Пропуски обусловлены сложностью обработки участков с высокой плотностью полога и наличием деревьев малой высоты. Построены линейные регрессионные модели для оценки высоты и диаметра деревьев на основе данных ВЛС. Среднеквадратичная ошибка составила 1,5 м для высоты и 6,1 см для диаметра деревьев. Полученные данные могут служить основой для дальнейшего улучшения моделей, а также подтверждают целесообразность изучения и применения данной технологии для подеревной таксации.

Ключевые слова: лесная таксация, беспилотный летательный аппарат, воздушное лазерное сканирование, сегментация, высота и диаметр деревьев

Для цитирования:

Бурдин А. А., Богатырев Д. А., Тарасов А. В., Пьянков С. В. Оценка параметров деревьев на основе данных воздушного лазерного сканирования в смешанных лесах Среднего Предуралья // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 32–41. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-32-41

Введение

Оценка таксационных параметров древостоев является одним из необходимых этапов работ при отводе лесных участков, предназначенных под рубку. Традиционная методика инструментальных измерений при таксации лесосек регламентируется приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 17.10.2022 № 688. – М., 2022. – 50 с.). Данный способ сводится к получению качественных и количественных характеристик участка, в первую очередь объема заготавливаемой древесины. При пло-

щади лесосеки менее 3 га производится сплошной пересчет всех деревьев, при большей площади закладывается ленточный пересчет или реласкопические площадки. Результаты пересчета записываются в переучетную ведомость. При этом определяются диаметры ствола на высоте 1,3 м, высота деревьев, породный состав, полнота и прочие характеристики, указываемые в таксационном описании лесосеки. Погрешность при определении объема древесины и породного состава не должна превышать 10 %. Определение многих характеристик производится глазомерным способом, что влечет за собой неточности, следствием которых может стать нару-

шение лесного законодательства и дополнительные расходы для предприятий, занимающихся лесозаготовкой. В связи с этим растет актуальность разработки альтернативных методов таксации лесосек с применением беспилотных воздушных судов (БВС) с различной нагрузкой, в частности с мультиспектральными камерами и воздушными лазерными сканерами (лидарами).

В России при таксации леса применяются только материалы аэрофото- или космической съемки с детальностью от 2,5 м на пиксель, снятые в вегетационный период и содержащие набор спектральных каналов видимого и ближнего ИК-диапазонов (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 510 от 05.08.2022. – М., 2022. – 21 с.) Эти нормативы относятся только к проведению лесоустройства, тогда как при отводе лесосек данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) не задействованы. Между тем в мировой практике при решении этой задачи широко применяется как мультиспектральная съемка с БВС, так и воздушное лазерное сканирование (ВЛС). Основным преимуществом последнего является высокая плотность и проникающая способность лазерных импульсов, что позволяет построить высокодетальную трехмерную модель рельефа и насаждений в виде облака точек и определить с приемлемой точностью основные таксационные характеристики: высоту, размеры кроны дерева, полноту насаждений – и рассчитать разными способами запас древесины.

Данные ВЛС уже стали информационной основой мониторинга и инвентаризации лесов во многих странах мира. Изначально для задач инвентаризации лесов использовался подход, основанный на выделении однородных площадей, близких по характеристикам к таксационным выделам (area-based approach). Опыт его применения рассматривается в ряде публикаций [1, 2]. В последующие годы совершенствование лидаров и повышение плотности точек лазерного сканирования позволило развивать методы, основанные на идентификации отдельных деревьев по данным ВЛС. Такие алгоритмы предпола-

гают на первом этапе группировку точек, которые соответствуют отдельным деревьям или их группам – так называемую вокселизацию. Затем вершины деревьев выявляются на основе идентификации локальных максимумов высоты или выпуклости [3], с помощью методов «подгонки формы» (shape fitting) [4] или с помощью кластеризации [5]. В работе [6] предлагаются различные стратегии обработки данных ВЛС для идентификации отдельных деревьев в сложных лиственных насаждениях, включая методы на основе облака точек и методы уточнения с помощью пространственной кластеризации. Более современные алгоритмы используют сверточные нейронные сети для работы с облаками точек, такие как PointNet [7]. Характерные значения точности детектирования отдельных деревьев в лесном массиве составляют порядка 0,6–0,75 (по показателю F-меры), причем число пропусков чаще превышает число ложных детектирований, так как пропускаются относительно низкие и тонкие деревья, вклад которых в запас насаждения невелик. Точность измерения высоты деревьев находится на уровне десятков сантиметров [8]. В работе [9] была достигнута точность определения высоты в пределах 0,2 м, и количества деревьев на уровне 90 %.

В России воздушное лазерное сканирование (ВЛС) зарекомендовало себя как высокоточный и эффективный метод для оценки таксационных характеристик лесов. Проведенные исследования подтверждают, что ВЛС позволяет достоверно определять породный состав, густоту, высоту, диаметр деревьев и запас древесины [10]. Используемые методики, основанные на анализе проекций крон и расчетах по стандартным таксационным формулам, показали, что точность полученных данных сопоставима с результатами традиционной глазомерно-измерительной таксации и соответствует требованиям лесоустроительной инструкции [11]. Кроме того, развивается подход к сегментации крон деревьев по изображениям, полученным с БВС, с помощью нейронных сетей, что открывает дополнительные возможности для автоматизированной инвентаризации и мониторинга лесных территорий [12].

В целом данное направление исследований в мире активно развивается на фоне повышения как доступности самих данных ВЛС, так и развития новых алгоритмов их обработки. Однако специфика его применения к сложным насаждениям (смешанным, разновозрастным, с различными проявлениями антропогенного воздействия в виде разновозрастных вырубок), характерным для Пермского края, безусловно, требует дополнительных исследований.

В настоящей работе рассматриваются первые результаты оценки характеристик отдельных деревьев в лесном массиве по данным ВЛС на территории Пермского края. Целью ее является сопоставление оценки высоты и диаметра деревьев по данным ВЛС и полевых измерений для смешанных лесов Среднего Предуралья.

Характеристика участка и полевые работы

Для закладки эталонов и сверки данных был выбран участок в Березовском районе Пермского края (57.783N 57.593E). Площадь участка 2,52 га, формула состава, исходя из таксации, проведенной в 2024 г., – 7ЛП1Б1Е1П. Насаждения имеют следующие характеристики (табл. 1). Средний по участку запас древесины составляет 200 м³/га, полнота насаждений 0,5 – неравномерная, подрост – ель возрастом 15 лет. Данный участок хорошо подходит для изучения, так как имеет свежие материалы лесоустройства, находится недалеко от дороги, имеет неравномерный состав, лесной участок подходит под возраст рубки и отнесен к классу спелых и перестойных насаждений.

Таблица 1

Характеристики лесных насаждений

Порода дерева	Возраст (лет)	Средняя высота (H, м)	Средний диаметр ствола (D, см)	Объем на участке (V, м ³)	Количество деревьев на участке	Количество сухостоя	H (м)	D (см)
Липа	65	22	24	352	567	0	23	26
Береза	65	20	20	50	264	6	19	19
Ель	80	21	24	51	151	7	24	35
Пихта	80	18	20	50	65	31	20	35/24
Ива	–	–	–	–	17	0	16	15

Для данного участка был выбран метод сплошного перечета стоящих на корню деревьев, подходящих под заготовку. Помимо основных характеристик, таких как порода, высота, диаметр, были определены координаты ствола каждого дерева с целью дальнейшего сравнения сегментации, полученной по облаку точек ВЛС. Первым шагом было установление границ отведенного участка, в качестве начальной точки локальной системы координат выбран квартальный столб с известными координатами в системе WGS-84. После определения границы участка выполнен сплошной перемер деревьев. Каждому дереву присвоен номер в перечетной ведомости, координаты деревьев получены с помощью GNSS станции D-RTK-2 (рис. 1). Диаметр деревьев измерен мерной вилкой (шаг вилки 2 см), высота измерена у деревьев, вершина кроны которых находилась в прямой видимости. В перечетную ведомость не включены деревья диаметром менее 12 см, а также поваленные деревья. Сухостойные де-

ревья внесены в перечетную ведомость отдельной строкой. Учетные деревья за границами участка в дальнейшем были исключены из перечета. С помощью сортиментных и товарных таблиц для равнинных лесов Урала были установлены разряды высот деревьев и в дальнейшем вычислены объемы каждого дерева на лесном участке (табл. 2).



Рис. 1. Съёмка участка

Таблица 2

Объем деревьев на лесном участке

Порода дерева	Разряд высот	Объем ствола в коре (м. куб.)
Липа	1	385
Береза	3	82
Ель	5	172
Пихта	3	31

Суммарный объем на участке 670 м³/га, запас – 265 м³/га, полнота 0,6, а формула породного состава 6ЛП1Б3Е+П. Сравнив эти характеристики с данными таксационных описаний лесоустройства, можно заметить превышение объема на 25 %, а также увеличение доли хвойных пород в составе. Стоит отметить, что сплошной пересчет является более точным, чем таксация, так как расчет характеристик производится у каждого дерева, что в дальнейшем даст возможность более корректно проводить сравнение с данными ВЛС

Для съемки участка применялись два БВС типа «квадрокоптер» DJI Matrice 350 RTK и DJI Mavic 3 Multispectral. Первый представляет собой промышленный БВС с установленным на него сканером LiDAR Zenmuse L2. Второй несет на себе только мультиспектральную камеру, снимающую в трех видимых и двух ИК-каналах. При съемке использована GNSS станция D-RTK-2 для более точного позиционирования [13]. Так как БВС DJI Matrice 350 и подвес LiDAR Zenmuse L2 совместимы, процесс съемки и обработки является более оперативным. Данный подвес установлен на трехосевом стабилизаторе, что позволяет сканировать не только в надири, но и под разными углами.

Запуск БВС выполнен с открытой площади в лесу по заранее записанному полетному заданию. Съемка ВЛС выполнена с высоты 150 м, боковое перекрытие между пролетами составляло 60 %, съемка велась в надири, скорость полета 10 м/с, плотность выходного облака точек 200 т/м². Стоит отметить и интервал съемки: в среднем полет длится не более 30 мин. Высокая точность геопозиционирования (1–2 см) определяется установленной базовой станцией RTK, которая передает дифференциальные поправки на

БВС. Аналогичным образом были построены и выполнены полетные задания для Mavic 3 Multispectral. Съемка выполнена с размером пиксела 30 см, продольным перекрытием снимков 80 %, поперечным перекрытием 70 % скоростью полета 15 м/с.

Данные в процессе съемки записаны на внутренний накопитель и содержат в себе файлы записи облака точек, траекторий, фотографий и координат базовой станции, которые в дальнейшем интерпретируются в соответствующем ПО.

После завершения съемки, в камеральной части работы выполнен накидной монтаж снимков в мозаичное покрытие. Исходные фотографии имеют три канала в высоком разрешении RGB, и четыре канала мультиспектральной съемки: RED, GREEN, RED EDGE, NIR. На выходе создан ортофотоплан формата Geotiff с семью спектральными каналами.

Работа с данными LiDAR включает несколько этапов. Изначальные данные с LiDAR Zenmuse L2 содержатся в форматах LDR, IMU, RTB, RTK, CLI и фотографиях. Для их обработки и конвертации в единый формат LAS использовано ПО DJI Terra [14]. Оно позволяет выполнить уравнивание траектории полета в заданной системе координат, и на основе множества пролетов получить единое выровненное облако точек. После обработки получено облако точек LAS с траекториями полета. Следующим этапом была обработка файлов LAS и траекторий полета в ПО Lidar360. На данном этапе были выделены перекрытия, удалены ошибочно записанные точки и точки шумов, выполнено разбиение облака точек на сегменты с установленной буферной зоной. В итоге получен набор данных, готовый для дальнейшей тематической обработки, а именно сегментации деревьев и определения таксационных характеристик каждого дерева.

Оценка характеристик деревьев по данным ВЛС

Для обработки данных был выбран пакет LidR, реализованный в среде языка программирования R [15]. На начальном этапе произве-

дена загрузка и проверка плотного облака точек воздушного лазерного сканирования (ВЛС). Следующим шагом является классификация точек земли с целью дальнейшего построения цифровой модели местности (ЦМР). Среди протестированных методов классификации, таких как Progressive Morphological Filter (PMF), Cloth Simulation Function (CSF) и Multiscale Curvature Classification (MCC), метод CSF, при стандартных параметрах, показал лучшие результаты, обеспечивая минимальное количество ошибок при определении точек земли (рис. 2).

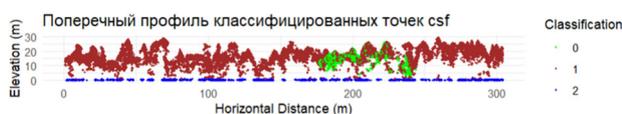


Рис. 2. Поперечный профиль через облако точек, классифицированных методом CSF

ЦМР по точкам была построена с использованием алгоритма обратного взвешивания расстояния (ОВР) с пространственным разрешением 0,5 м. Нормализация облака точек проводилась относительно построенной ЦМР, однако для повышения точности применялась нормализация непосредственно относительно исходного облака точек, что позволило избежать систематических ошибок. Для построения цифровой модели лесного полога (ЦМЛП) был использован алгоритм «point to raster» с размером пикселя 0,5 м, при этом производились интерполяция пустых пикселей и последующее сглаживание.

Индивидуальное обнаружение деревьев – это процесс пространственного определения местоположения деревьев и извлечения метрик из данных ВЛС. Сегментация отдельных деревьев – это процесс индивидуального разграничения обнаруженных деревьев по кронам. Для определения отдельных деревьев была написана функция для фильтра локального максимума с учетом переменного размера окна. В реальности в одной сцене могут присутствовать деревья переменного размера, что приводит к неоптимальным результатам. Чтобы решить эту проблему, в нашем случае необходим размер окна, который под-

страивается под высоту точек в плотном облаке. Точки с высотой менее 10 м обрабатываются с использованием окна размером 2 м, тогда как для точек с высотой более 20 м применяется окно размером 4 м. Для точек с высотой от 10 до 20 м размер окна определяется в соответствии с нелинейной зависимостью, которая учитывает высоту точек в плотном облаке. Этот подход обеспечил точное разделение крон деревьев даже в условиях изменяющейся плотности полога – алгоритм верно определил 962 дерева, что на 10 % меньше реального количества. Из-за недостаточной точности наземных данных привязка по деревьям не производилась. В рамках сегментации отдельных деревьев был выбран алгоритм Dalponte2016 [16]. Выбор обоснован наиболее точным определением крон деревьев. В каждом сегменте рассчитаны стандартные метрики высот (рис. 3). Трехмерная визуализация сегментированных деревьев показана на рис. 4. В результате по данным ВЛС идентифицировано 962 дерева, что на 10 % меньше, чем по данным полевых измерений.

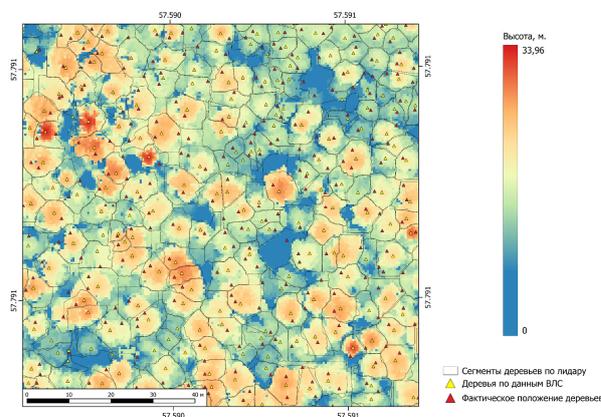


Рис. 3. Результат индивидуального определения и сегментации деревьев



Рис. 4. Визуализация отсегментированных деревьев

При построении линейной регрессионной модели для оценки высоты деревьев (H) и диаметра деревьев на высоте 1,3 м (D), необходимо из набора метрик, полученных из данных ВЛС, идентифицировать предикторы, которые в наибольшей степени объясняют изменчивость H и D по проверочным данным (результатам наземной съемки деревьев). Для этого в ArcGIS 10.8 с помощью инструмента «пространственное соединение» были объединены полученные сегменты и точки с данными, полученными при полевом обследовании. При попадании нескольких фактических точек деревьев в сегмент были выбраны точки с максимальным значением высоты. Для поиска наиболее информативных метрик рассчитана корреляционная матрица. На основе анализа корреляций отобраны наиболее значимые предикторы из числа данных ВЛС: z_{\max} (высота верхушки дерева) и zq_{80-95} (перцентили высот деревьев, выделенных по данным ВЛС) для моделирования H и D соответственно. Было решено учитывать метрики с со значениями коэффициентов корреляции для H от 0,84 и для D от $> 0,65$. По выбранным метрикам были построены линейные регрессионные модели предсказания H и D . Произ-

веден анализ ошибок, точности и коэффициентов регрессии, дающих значимый положительный вклад в оценку характеристик.

Результаты

Модель для предсказания H обладает высокой объясняющей способностью ($R^2 = 0,82$), подтверждая, что 82 % изменчивости высоты объясняется предикторами (табл. 3). Значимыми факторами являются максимальная высота z_{\max} ($p = 0,0004$) и 95-й перцентиль высот zq_{95} ($p \approx 0,054$), в то время как zq_{80} , zq_{85} и zq_{90} не оказали значимого влияния. Остатки модели распределены нормально, среднеквадратическая ошибка составляет 1,57 м, что можно считать удовлетворительным результатом.

Модель для предсказания D объясняет 62 % изменчивости диаметра ($R^2 = 0,62$), что ниже по сравнению с моделью для высоты, указывая на необходимость её улучшения. Значимыми предикторами оказались z_{\max} ($p = 0,0057$), имеющий прямую зависимость с диаметром и 85-й перцентиль высот zq_{85} ($p = 0,036$), имеющий обратную зависимость. Остальные предикторы (zq_{80} , zq_{90} , zq_{95}) не значимы.

Таблица 3

Результаты линейных моделей

Метрика	H, м	D, см
R^2	0,82	0,62
Среднеквадратичная ошибка	1,56	6,11
Коэффициенты регрессии	(Intercept)=3,61 $z_{\max}=0,40$ $zq_{80}=-0,24$ $zq_{85}=-0,02$ $zq_{90}=-0,04$ $zq_{95}=0,70$	(Intercept)=-13,47 $z_{\max}=1,21$ $zq_{80}=0,47$ $zq_{85}=-5,03$ $zq_{90}=2,91$ $zq_{95}=2,13$
Наиболее значимые предикторы	z_{\max} zq_{95}	z_{\max} zq_{85}

Обсуждение и заключение

Основными преимуществами ВЛС в сравнении с традиционными методами таксации лесосек остаются более высокая объективность в сравнении с глазомерной таксацией, а также существенное снижение трудозатрат. Модели для оценки высоты и диаметра деревьев под-

тверждают возможность применения методов ВЛС для мониторинга лесных насаждений с приемлемой точностью. Полученные коэффициент детерминации $R^2 = 0,82$ и среднеквадратичная ошибка (СКО) 1,565 см для модели высоты сопоставимы с результатами в других исследованиях [2, 8], где СКО в определении высоты составила 6,9 см и 4,1 см соответ-

ственно. Модель для оценки диаметра деревьев показала меньшую точность ($R^2 = 0,62$) с СКО = 6,11 см, что может быть связано с большей изменчивостью диаметра в смешанных лесах или недостаточной плотностью данных ВЛС для точного определения этой метрики. Аналогичные проблемы отмечены в работе [5]. В настоящем исследовании использование предикторов z_{max} и z_{q85} показало значимость этих метрик, но выявлена необходимость доработки модели для учета более сложной структуры насаждений.

Кроме того, выявлено расхождение между данными полевого учета и результатами сегментации ВЛС (10 % пропущенных деревьев), что объясняется сложностью обработки участков с высокой плотностью полога и наличием деревьев малой высоты. Подобные выводы согласуются с работой [9], авторы которой также отмечали низкую точность идентификации таких деревьев. Таким образом, для лесов сложной структуры, ха-

рактерных для Среднего Предуралья, необходимы дальнейшие исследования и адаптация алгоритмов сегментации и обработки данных.

Полученные результаты подчеркивают перспективность использования ВЛС в лесной таксации, однако также выявляют необходимость улучшения методов анализа для повышения точности определения всех параметров. Повышение точности результатов возможно как путем определения дополнительных метрик, получаемых из данных ВЛС, например, на уровне вокселя или самого плотного облака точек, так и на основе применения более совершенных алгоритмов (нейронных сетей, случайного леса) для решения задачи.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Пермского края в рамках Соглашения от 29.02.2024 № С-26/815.1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Junttila V., Maltamo M., Kauranne T. Sparse Bayesian Estimation of Forest Stand Characteristics from Airborne Laser Scanning // *Forest Science*. – 2008. – Vol. 54. – P. 543–552. – DOI 10.1093/forestscience/54.5.543.
2. Kauranne T., Pyankov S., Junttila V., Kedrov A., Tarasov A., Kuzmin A., Peuhkurinen J., Vilkka M., Vartio V.-M., Sirparanta S. Airborne Laser Scanning Based Forest Inventory: Comparison of Experimental Results for the Perm Region, Russia and Prior Results from Finland // *Forests*. – 2017. – Vol. 8. – Art. No. 72. – DOI 10.3390/f8030072. – EDN YVKOIR
3. Anandakumar R., Nidamanuri R., Krishnan R. Individual tree detection from airborne laser scanning data based on supervoxels and local convexity // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. – 2019. – Vol. 15. – Art. No. 100242. – DOI 10.1016/j.rsase.2019.100242.
4. Qian C., Yao C., Ma H., Xu J., Wang J. Tree Species Classification Using Airborne LiDAR Data Based on Individual Tree Segmentation and Shape Fitting // *Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 15. – Art. No. 406. – DOI 10.3390/rs15020406. – EDN JQTPHE.
5. Li Y., Xie D., Wang Y., Jin S., Zhou K., Zhang Z., Li W., Zhang W., Mu X., Yan G. Individual tree segmentation of airborne and UAV LiDAR point clouds based on the watershed and optimized connection center evolution clustering // *Ecology and Evolution*. – 2023. – Vol. 13. – Art. No. e10297. – DOI 10.1002/ece3.10297. – EDN ONQZAW.
6. Pu Y., Xu D., Wang H., Li X., Xu X. A New Strategy for Individual Tree Detection and Segmentation from Leaf-on and Leaf-off UAV-LiDAR Point Clouds Based on Automatic Detection of Seed Points // *Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 15. – Art. No. 1619. – DOI 10.3390/rs15061619. – EDN IFVZZV.
7. Kim D-H., Ko C-U., Kim D-G., Kang J-T., Park J-M., Cho H-J. Automated Segmentation of Individual Tree Structures Using Deep Learning over LiDAR Point Cloud Data // *Forests*. – 2023. – Vol. 14(6). – Art. No. 1159. – DOI 10.3390/f14061159. – EDN NCKHTA.

8. Sparks A. M., Smith A. M. S. Accuracy of a LiDAR-Based Individual Tree Detection and Attribute Measurement Algorithm Developed to Inform Forest Products Supply Chain and Resource Management // *Forests*. – 2022. – Vol 13. – Art. No. 3. – DOI 10.3390/f13010003. – EDN FURWHO.
9. Chen X., Jiang K., Zhu Y., Wang X., Yun T. Individual tree crown segmentation directly from UAV-borne LiDAR data using the PointNet of deep learning // *Forests*. – 2021. – Vol. 12. – Art. No. 131. – DOI 10.3390/f12020131. – EDN ВМКОАР.
10. Ковязин В. Ф., Виноградов К. П., Киценко А. А., Васильева Е. А. Воздушное лазерное сканирование для уточнения таксационных характеристик древостоев // *Изв. вузов. Лесн. журн.* – 2020. – № 6. – С. 42–54. – DOI 10.37482/0536-1036-2020-6-42-54. – EDN WGSYHB.
11. Ковязин В. Ф., Пасько О. А., Лепихина О. Ю., Трушников В. Е. Оценка точности инвентаризации лесных земель с применением воздушного лазерного сканирования // *Геодезия и картография*. – 2022. – № 6. – С. 54–63. – DOI 10.22389/0016-7126-2022-984-6-54-63.12. – EDN RPJLAJ.
12. Катаев М. Ю., Карташов Е. Ю., Рябухин В. В., Макаров Е. В., Пасько О. А. Методика сегментации изображений беспилотных летательных аппаратов с помощью нейронных сетей // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2023. – Т. 20. № 1. – С. 55–66. – DOI 10.21046/2070-7401-2023-20-1-55-66. – EDN ANGNDZ.
13. DJI Enterprise. Matrice 350 RTK // Specs [Электронный ресурс] – URL: <https://enterprise.dji.com/matrice-350-rtk/specs>.
14. DJI Enterprise. DJI Terra // [Электронный ресурс] – URL: <https://enterprise.dji.com/dji-terra>.
15. Roussel J. R., Auty D., Coops N. C., Tompalski P., Goodbody T. R. H., Sánchez Meador A., Bourdon J. F., De Boissieu F., Achim A. LidR: An R package for analysis of Airborne Laser Scanning (ALS) data // *Remote Sensing of Environment*. – 2021. – Vol 251. – Art. No. 112061. – DOI 10.1016/j.rse.2020.112061 EDN: FFSEVG.
16. Dalponte M., Coomes D.A., Tree-centric mapping of forest carbon density from airborne laser scanning and hyperspectral data // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2016. – Vol. 7. – P. 1236–1245. – DOI 10.1111/2041-210X.12575.

Об авторах

Артем Андреевич Бурдин – ассистент кафедры картографии и геоинформатики.

Данил Артемович Богатырев – магистрант кафедры картографии и геоинформатики.

Андрей Владимирович Тарасов – кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики.

Сергей Васильевич Пьянков – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой картографии и геоинформатики.

Получено 19.02.2025

© А. А. Бурдин, Д. А. Богатырев, А. В. Тарасов, С. В. Пьянков, 2025

Assessment of tree parameters based on aerial laser scanning data in mixed forests of the Middle Urals

A. A. Burdin¹, D. A. Bogatyrev¹, A. V. Tarasov¹, S. V. Pyankov¹✉

¹ Perm State University, Perm, Russian Federation
e-mail pyankovsv@gmail.com

Abstract. The initial results of individual tree-level assessment of stand characteristics (tree count, height, and diameter) in mixed forests of the Middle Urals using airborne laser scanning (ALS) data are presented in the article. A complete ground survey was carried out for a sample plot of 2.52

hectares located in Berezovsky District of the Perm region, along with an ALS survey performed with unmanned aerial vehicle (UAV). Based on the acquired point cloud processed using the LidR package, segmentation and identification of tree tops were carried out. As a result of this segmentation, 962 trees were identified within the study area according to ALS data, which is approximately 10% less than their actual number. The discrepancy was attributed to difficulties in processing areas with dense canopy cover and presence of low-height trees. Linear regression models were developed to estimate tree heights and diameters based on ALS data. The RMSE was found to be 1.5 m for tree height and 6.1 cm for tree diameter. These findings provide a foundation for further refinement of the models and validate the feasibility of studying and applying ALS for detailed forest inventory.

Keywords: forest inventory, unmanned aerial vehicle, aerial laser scanning, segmentation, tree height, tree diameter

REFERENCE

1. Junttila, V., Maltamo, M., Kauranne, T. Sparse Bayesian Estimation of Forest Stand Characteristics from Airborne Laser Scanning, *Forest Science*. 2008, 54, 543–552. DOI 10.1093/forestscience/54.5.543.
2. Kauranne, T., Pyankov, S., Junttila, V., Kedrov, A., Tarasov, A., Kuzmin, A., Peuhkurinen, J., Villikka, M., Vartio, V.-M., Sirparanta, S. (2017) Airborne Laser Scanning Based Forest Inventory: Comparison of Experimental Results for the Perm Region, Russia and Prior Results from Finland. *Forests*. 8, 72. DOI 10.3390/f8030072. EDN YVKOIR
3. Anandakumar, R., Nidamanuri, R., Krishnan, R. (2019) Individual tree detection from airborne laser scanning data based on supervoxels and local convexity. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 15, 100242. DOI 10.1016/j.rsase.2019.100242.
4. Qian, C., Yao, C., Ma, H., Xu, J., Wang, J. (2023) Tree Species Classification Using Airborne LiDAR Data Based on Individual Tree Segmentation and Shape Fitting. *Remote Sensing*. 15, 406. DOI 10.3390/rs15020406. EDN JQTPHE.
5. Li, Y., Xie, D., Wang, Y., Jin S., Zhou, K., Zhang, Z., Li, W., Zhang, W., Mu, X., Yan, G. (2023) Individual tree segmentation of airborne and UAV LiDAR point clouds based on the watershed and optimized connection center evolution clustering. *Ecology and Evolution*. Vol. 13. Art. No. e10297 DOI 10.1002/ece3.10297. EDN ONQZAW.
6. Pu, Y., Xu, D., Wang, H., Li, X., Xu, X. (2023) A New Strategy for Individual Tree Detection and Segmentation from Leaf-on and Leaf-off UAV-LiDAR Point Clouds Based on Automatic Detection of Seed Points. *Remote Sensing*. 15, 1619. DOI 10.3390/rs15061619. EDN IFVZZV.
7. Kim, D-H., Ko, C-U., Kim, D-G., Kang, J-T., Park, J-M., Cho, H-J. (2023) Automated Segmentation of Individual Tree Structures Using Deep Learning over LiDAR Point Cloud Data. *Forests*. 14(6), 1159. DOI 10.3390/f14061159. EDN NCKHTA.
8. Sparks, A.M., Smith, A.M.S. (2022) Accuracy of a LiDAR-Based Individual Tree Detection and Attribute Measurement Algorithm Developed to Inform Forest Products Supply Chain and Resource Management. *Forests*. 13, 3. DOI 10.3390/f13010003. EDN FURWHO.
9. Chen, X., Jiang, K., Zhu, Y., Wang, X., Yun, T. (2021) Individual tree crown segmentation directly from UAV-borne LiDAR data using the PointNet of deep learning. *Forests*. 12, 131. DOI 10.3390/f12020131. EDN BMKOAP.
10. Koviazin, V.F., Vinogradov, K.P., Kicenکو, A.A., Vasilieva, E.A. (2020). Airborne Laser Scanning for Refinement of Forest Stand Taxation Characteristics. *Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal)*, (6), 42–54. DOI 10.37482/0536-1036-2020-6-42-54. EDN WGSYHB.
11. Koviazin, V.F., Pasko, O.A., Lepikhina, O.Yu., Trushnikov, V.E. (2022). Accuracy Assessment of Forest Land Inventory Using Airborne Laser Scanning. *Geodesy and Cartography*, (6), 54–63) DOI: 10.22389/0016-7126-2022-984-6-54-63.12. EDN RPJLAJ [in Russian]

12. Kataev, M.Yu., Kartashov, E.Yu., Ryabukhin, V.V., Makarov, E.V., Pasko, O.A. (2023). Method for Segmenting UAV Images Using Neural Networks. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 20(1), 55–66. DOI 10.21046/2070-7401-2023-20-1-55-66. EDN ANGNDZ [in Russian]
13. DJI Enterprise. Matrice 350 RTK *Specs* Retrieved from <https://enterprise.dji.com/matrice-350-rtk/specs>.
14. DJI Enterprise. DJI Terra Retrieved from <https://enterprise.dji.com/dji-terra>.
15. Roussel J.R., Auty D., Coops N. C., Tompalski P., Goodbody T. R.H., Sánchez Meador A., Bourdon J.F., De Boissieu F., Achim A. (2021). LidR: An R package for analysis of Airborne Laser Scanning (ALS) data *Remote Sensing of Environment*. Vol 251. Art. No. 112061. DOI 10.1016/j.rse.2020.112061 EDN: FFSEVG.
16. Dalponte M., Coomes D.A. (2016). Tree-centric mapping of forest carbon density from airborne laser scanning and hyperspectral data *Methods in Ecology and Evolution*. Vol. 7. P. 1236–1245. DOI 10.1111/2041-210X.12575.

Author details

Artem A. Burdin – assistant, Department of Cartography and Geoinformatics.

Danil A. Bogatyrev – Graduate, Department of Cartography and Geoinformatics.

Andrey V. Tarasov – Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics.

Sergey V. Pyankov – D. Sc., Professor, Head of the Department of Cartography and Geoinformatics.

Received 19.02.2025

© A. A. Burdin, D. A. Bogatyrev, A. V. Tarasov, S. V. Pyankov, 2025



УДК 528.236.4

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-42-51

Принципы автоматизируемой интерпретации и извлечения пространственных данных из наземных изображений с учетом их пространственно-временного контекста

Ю. В. Бельшева¹, О. Г. Гвоздев^{1✉}, А. В. Матерухин¹

¹Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Российская Федерация

e-mail: gvozdev@miigaik.ru

Аннотация. В работе поднят вопрос дефицита первичных высокодетализированных пространственно-временных данных, свойственный как геоинформатике в целом (полагающейся во многом на данные, собранные и агрегированные методами статистики, полевых измерений и наблюдений, а также методами ДЗЗ), так и другим областям, оперирующим пространственно-временными данными, такими как метеорология. В качестве способа преодоления этого дефицита предложено получение пространственных данных из наземных изображений. Приведена принципиальная схема метода автоматизируемого извлечения пространственных данных из наземных изображений с учетом их пространственно-временного контекста. Рассмотрено проведенное на о. Сахалин экспериментальное исследование, показавшее принципиальную применимость метода для идентификации и локализации туманов различных типов на территории аэродрома «Пушистый» ($F1 = 0,85$; $IoU = 0,74$) по наземным изображениям с привлечением минимума внешней метеорологической информации (направление ветра, влажность воздуха). Проведен анализ ограничений метода, определены дальнейшие направления исследований и разработок.

Ключевые слова: пространственные данные, автоматизация, идентификация метеорологических явлений, интерпретация наземных изображений, искусственная нейронная сеть

Для цитирования:

Бельшева Ю. В., Гвоздев О. Г., Матерухин А. В. Принципы автоматизируемой интерпретации и извлечения пространственных данных из наземных изображений с учетом их пространственно-временного контекста // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 42–51. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-42-51

Введение

Классические методы пространственного анализа, статистики, геостатистики и геомоделирования опираются главным образом на проработанные методологии сбора данных,

организацию выборки, качественные и точные измерения, тщательную предварительную обработку и агрегацию данных; современные методы, такие как модели на основе искусственных нейронных сетей (ИНС), полагаются на естественную избыточность дан-

ных реального мира, проявляющуюся в первичных детализированных данных. Количество и разнообразие данных при этом преобладают над точностью отдельных измерений и качеством подготовки исходной выборки в целом.

Большие фундаментальные ИНС, обучаемые (полностью или частично) с помощью техник самообучения (self-supervised learning), то есть не полагающиеся (либо полагающиеся минимально) на разметку данных экспертом в предметной области, выявляют сложнейшие закономерности в различных областях, в числе которых: восприятие естественных языков [1], предсказание пространственной структуры белков [2], семантическая сегментация и выделение объектов на изображениях [3].

Несмотря на обилие и сложность задач геоинформатики, основные успехи применения современных методов ограничиваются главным образом задачами интерпретации данных дистанционного зондирования Земли [4].

Схожая ситуация наблюдается в другой области знаний, также оперирующей пространственными данными, – метеорологии, традиционно полагающейся на совокупность трех источников данных: сети стационарных наземных пунктов наблюдений, специализированных метеорологических спутников и метеорологических радаров. Несмотря на успешное использование моделей на основе ИНС для предсказания погоды [5, 6] на уровне, превышающем возможности современных физически достоверных моделей атмосферы, их пространственное разрешение остается весьма низким и не превышает 10–20 км на шаг сетки модели, что приблизительно соответствует моделям «регионального» класса, а задействованные в них данные далеки от первичных.

В то же время практика областей деятельности и предприятий, зависимых от метеорологических условий, таких как эксплуатация автомобильных и железнодорожных путей сообщения, авиация, тепло- и электроэнергетика, сельское хозяйство, городское управление, нуждается в качественных [7, 8] данных

о локальных явлениях масштаба от десятков метров до нескольких километров, что ниже нижней границы разрешающей способности всех перечисленных выше методов, а значит, принципиально недоступно для них.

Авторами выдвинута гипотеза о том, что использование автоматических наземных наблюдений, выполняемых с помощью фотовидеокамер потребительского уровня, работающих в оптическом диапазоне, с их последующей автоматической интерпретацией с помощью моделей на основе ИНС, а также их введение в единый пространственно-временной домен с последующей обработкой в нем, также выполняемой с помощью ИНС, позволит получить новые, более детализированные пространственно-временные данные, полезные как сами по себе, так и в качестве основы для геомоделирования.

Использование фотографии для наблюдения метеорологических явлений упоминалось еще в 1989 г. [9], однако именно сейчас технологии цифровой фотографии достигли соотношения стоимости и качества, позволяющего рассматривать их как полноценное средство массовых автоматических наблюдений за пространственными явлениями.

Более того, в отличие от специализированных приборов, измеряющих отдельные физические величины, технологии интерпретации изображений могут развиваться независимо от технологий их первичного получения, что позволяет, не меняя физического устройства станций сбора данных, расширять возможности системы.

В настоящее время наземные изображения (в рамках геоинформатики) используются главным образом для навигации: сопоставления наземных изображений с аэрокосмическими [10–12].

Комплексность задачи интерпретации наземных изображений заключается в необходимости формирования привлечения стационарного и моментального контекстов, что требует экспертизы в ряде сложных областей: обработке изображений и видеорядов, растровых и векторных данных в пространствен-

ном домене, пространственно-временных данных и их потоков.

Целью статьи является определение базовых принципов автоматизируемой интерпретации наземных изображений с учетом их пространственно-временного контекста для дальнейшего извлечения пространственных данных из них, а также подтверждение принципиальной работоспособности данного подхода.

Материалы и методы

Авторами разработана концептуальная схема метода автоматизируемой интерпретации наземных изображений с учетом их пространственно-временного контекста для дальнейшего извлечения пространственных данных из них (рис. 1).

В основе метода лежит выделение отдельных визуальных признаков на изображениях и соотнесение их и соответствующей динамики с возможными в данных географических условиях процессами и явлениями.

Изображения сначала анализируются по отдельности с целью выявления первичных визуальных признаков. После для каждого момента времени формируется релевантное множество изображений, признаки, выявленные в которых, используются в дальнейшем процессе.

Правила формирования релевантного множества изображений следующие.

1. Включить текущее изображение.
2. Включить по три изображения, равномерно распределенных во времени за следующие интервалы до времени текущего изображения: последний час, от 1 до 3 часов, от 3 до 6 часов, от 6 до 12 часов, от 12 до 24 часов.
3. Включить изображения за каждый час за от 1 до 3 суток до времени текущего изображения.
4. Включить изображения в то же время с данной камеры от 3 до 7 суток до времени текущего изображения.
5. Исключить изображения, полученные в ночное время (центр Солнца на 5 или более градусов ниже горизонта).

Помимо изображений привлекаются две категории данных:

1) стационарный пространственный контекст – данные о релевантной пространственно-временной области, не накапливающие значимых изменений за срок до нескольких месяцев;

2) моментальный пространственный контекст – данные о релевантной пространственно-временной области, актуальные (условно актуальные) на момент получения отдельного изображения.

Стационарный пространственно-временной контекст предполагает такие данные, как положение и ориентацию камер, статистику ветров («роза ветров»), данные о рельефе (водоемах, возвышенностях), о положении релевантных объектов в зоне видимости камер.

Моментальный пространственно-временной контекст, в свою очередь, предполагает: дату и время наблюдения, направление ветра, влажность воздуха.

Для встраивания изображения в пространственный домен выполняется его разбиение на прямоугольные зоны, перекрывающиеся на 50 % по горизонтали и вертикали, каждая из которых соотносится с сектором в области видимости камеры, угловые размеры каждой из которых составляют приблизительно 10 градусов по горизонтали и по вертикали.

Стационарный пространственно-временной контекст используется для сценарного моделирования процессов и явлений, вероятных в данной области пространства, результатом каждого сценария является набор визуальных признаков, которые должны фиксироваться на камерах в случае его реализации.

Основной цикл наблюдений предполагает режимы ожидания и отслеживания целевого явления. В режиме ожидания явления выполняется сопоставление зафиксированных визуальных признаков и их динамики с вариантами, предсказанными с помощью сценарного моделирования. Если обнаруживаются признаки целевого явления, выполняется переход в режим отслеживания явления, заключающийся в поиске возможных сценариев его развития.

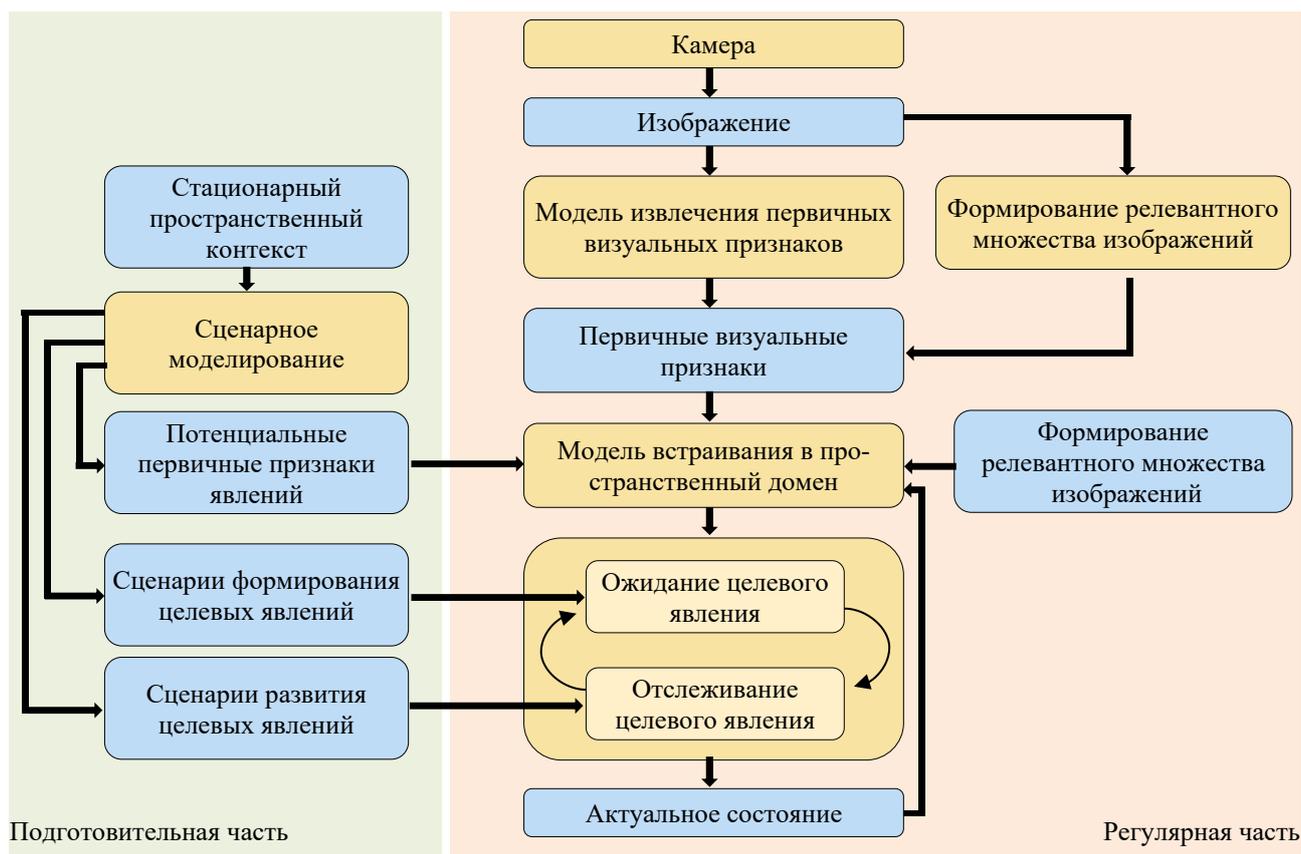


Рис. 1. Концептуальная схема метода интерпретации наземных изображений с учетом их пространственно-временного контекста

Принципы сценарного моделирования метеорологических явлений

Сценарное моделирование метеорологических явлений заключается:

- 1) в идентификации целевых явлений – явлений, представляющих интерес [13];
- 2) для каждого из целевых явлений:
 - 2.1) в идентификации базовых условий для формирования явления;
 - 2.2) идентификации визуальных признаков (проявлений) явления;
 - 2.3) идентификации релевантных явлению объектов на местности (2.1);
 - 2.4) разработке сценариев реализации явления для каждого (2.3);
 - 2.5) идентификации проявлений (2.2) каждого из сценариев (2.4);
 - 2.6) определении сценариев развития (2.5) для различных внешних условий.

Для экспериментального исследования предлагаемого метода в качестве целевого явления выбраны туманы. Базовым условием

для их появления является понижение температуры влажного воздуха ниже точки росы, что приводит к конденсации водяного пара и образованию аэрозоля, содержащего мельчайшие частицы воды в жидком и твердом состоянии [14, 15].

Визуально туманы могут проявляться в нескольких формах: поземный туман (до 2 м над поверхностью земли), туман в окрестностях (на расстоянии от 30–50 м от камеры), туман парения (над водоемами), общий туман (общее ухудшение видимости).

Туманы по базовым условиям появления можно разделить:

- 1) на туманы охлаждения: адвективные (образующиеся при перемещении (адвекции) воздуха на холодную подстилающую поверхность), радиационные (образующиеся при «радиационном выхолаживании» – совместном понижении температуры подстилающей поверхности и слоя воздуха над ней), орографические (образующиеся при подъеме воздуха вдоль склона рельефа);

2) туманы испарения (образующиеся, когда температура воды в водоеме выше температуры воздушного слоя над ней);

3) туманы смешения (образующиеся при смешении воздушных масс существенно различной температуры).

Определение принадлежности явления к одному из классов позволяет определить его дальнейшее развитие, а главное, оценить возможную общую продолжительность. В настоящее время анализ такого рода производится экспертами-метеорологами, на основе результатов работы которых выполняется обучение моделей на основе ИНС.

Организация экспериментального исследования метода

Для подтверждения принципиальной работоспособности метода было проведено экспериментальное исследование, выполненное в рамках проектно-образовательного интенсива «Архипелаг-2024» на аэродроме «Пушистый» (о. Сахалин).

В эксперименте участвовали две группы сотрудников: камеральная группа, базировавшаяся в г. Москве, полевая группа, базировавшаяся на о. Сахалин.

Подготовительный этап. Полевой группой были установлены три автоматические наблюдательные станции, фиксирующие изображения и передающие их в центр обработки данных в г. Москве с периодичностью от 20 до 300 секунд в зависимости от времени суток и условий беспроводной связи. Также было выполнено обследование местности на предмет релевантных объектов и составление плана ориентиров с их от-

меткой в зонах видимости камер. Эти данные были переданы камеральной группе. На их основе и сведений из открытых источников камеральной группой была выполнена идентификация и сценарное моделирование ожидаемых явлений.

Основной этап. Полевой группой выполнялась фиксация фактических метеорологических условий и явлений.

Камеральная группа выполняла анализ метеорологических условий и явлений, основываясь исключительно на изображениях с камер наблюдения и данных о направлении ветра и влажности воздуха, получаемых из [16]. Работа выполнялась в полуавтоматическом режиме: применялся ансамбль из нескольких моделей на основе ИНС собственной разработки, работа которых постоянно контролировалась экспертами в области ИНС и метеорологии.

Взаимодействие между группами в ходе основного этапа эксперимента было исключено.

Заключительный этап. Выполнен анализ точности результатов метода путём их сопоставления с данными, собранными полевой группой.

Результаты

Основной этап экспериментального исследования выполнялся с июля по октябрь 2024 г. (120 полных дней). План территории с основными использованными ориентирами представлен на рис. 2. Области видимости камер с отметками ориентиров представлены на рис. 3. Достигнутые показатели точности приведены в таблице.

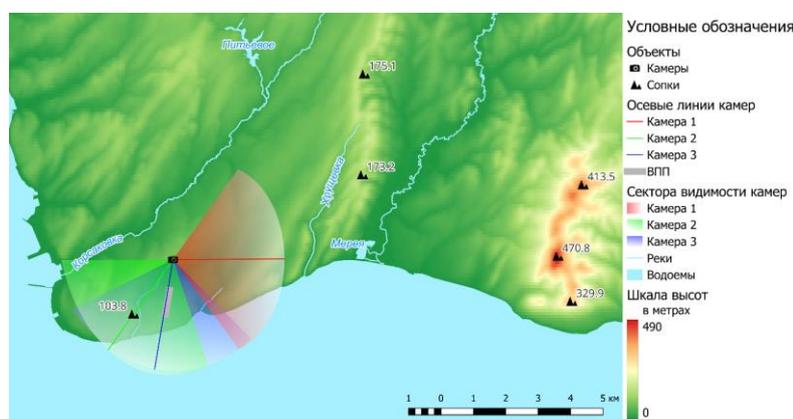


Рис. 2. План территории проведения эксперимента. Аэродром «Пушистый», о. Сахалин



Рис. 3. Ориентиры на изображениях, получаемых камерами

Показатели точности, достигнутые в рамках экспериментального исследования по интерпретации наземных изображений с учетом их пространственно-временного контекста

Показатель		Значение	
Истинно положительные срабатывания (ед.)	<i>TP</i>	14	
Ложноположительные срабатывания (ед.)	<i>FP</i>	2	
Ложноотрицательные срабатывания (ед.)	<i>FN</i>	3	
Всего событий (ед.)	<i>T</i>	16	
Точность	<i>Accuracy</i>	$\frac{TP}{T}$	0,74
Точность	<i>Precision</i>	$\frac{TP}{(TP + FP)}$	0,87
Полнота	<i>Recall</i>	$\frac{TP}{(TP + FN)}$	0,82
F1-мера	<i>F1</i>	$2 \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$	0,85
Intersection over Union (Jaccard Index)	<i>IoU</i>	$\frac{TP}{TP + FP + FN}$	0,74

Обсуждение

Территория о. Сахалин обеспечила чрезвычайно динамичную и вариативную метеорологическую обстановку, более сложную, чем может быть в большинстве потенциальных пунктов наблюдений.

Результаты экспериментального исследования показали, что предложенный метод интерпретации изображений, с учетом их пространственно-временного контекста, является результативным способом получения оперативных пространственно-временных данных о явлениях окружающей среды.

В то же время экспериментальное исследование обнаружило множество важных прикладных деталей и направлений для дальнейших исследований.

Функционирование систем такого рода чрезвычайно чувствительно к консистентности получаемых изображений в рамках всей наблюдательной сети, в особенности в части точной передачи яркостей, цветов и их соотношений.

Возможность наблюдений в ночное время представляет существенное ограничение: в местности, отдаленной от городской засветки, камера не способна сформировать ин-

формативное изображение. Решение этой проблемы одновременно с обеспечением сопоставимости изображений возможно путем введения алгоритмов автоматического управления выдержкой и светочувствительностью, а также применения датчиков освещенности или спектрального состава света.

Актуальна проблема позиционирования и ориентации камер и его учет в моделях. В зависимости от целевых явлений применяются различные схемы установки камер: для обнаружения заморозков камера должна быть направлена ниже горизонта (в сторону земли), а для определения типа облачного покрова – выше горизонта и т. п. Принципиально также наличие в кадре визуальных ориентиров: помимо определения дальности видимости они позволяют оценить угловые размеры явлений и их динамику, могут служить косвенным признаком отдельных метеорологических явлений (ветер, снег и т. п.).

Остро стоит проблема разрешающей способности в момент перехода признаков в пространственно-временной домен, предполагающая разделение изображения на сектора. Ввиду количества изображений (~50) и секторов, с учетом пересечений и понижения разрешающей способности к краям изображения (~200) и количества камер (предполагаемое количество – 4 на станцию), объем данных составляет 40 тысяч фрагментов, размерность каждого из которых может составлять до 4 тысяч признаков, что соответствует 164 миллионам параметров на одну наблюдательную станцию. Уменьшение этого объема приводит к деградации качества работы моделей, в то

время как увеличение повышает и без того высокие требования к вычислительному оборудованию.

Заключение

В рамках статьи была предложена принципиальная схема метода автоматизируемой интерпретации и извлечения пространственных данных из наземных изображений с учетом их пространственно-временного контекста, а также проведено экспериментальное исследование с целью проверить принципиальную работоспособность предложенных принципов.

В результате предложенная принципиальная схема метода была признана работоспособной, были выявлены ее ограничения, сформулированы направления дальнейших исследований и разработок в этой области.

Важно отметить, что на данном этапе исследования ключевой целью было подтверждение работоспособности предлагаемого подхода и достаточности данных визуальных наблюдений и пространственно-временного контекста для их уверенной интерпретации.

Вопросы построения моделей, осуществляющих полный цикл обработки данных с помощью рассмотренных в статье принципов, будут рассмотрены в следующих публикациях авторов.

Благодарности

Результаты получены в рамках государственного задания № FSFE-2022-0002 Минобрнауки России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Achiam O.J., Adler S., Agarwal S., et al. GPT-4 Technical Report. – 2023. – 100 p. – DOI 10.48550/arXiv.2303.08774.
2. Abramson J., Adler J., Dunger J., et al. Accurate structure prediction of biomolecular interactions with AlphaFold 3 // Nature. – 2024. – Vol. 630. – Pp. 493–500. – DOI 10.1038/s41586-024-07487-w. – EDN XBTLTYU.
3. Ravi N., Gabeur V., Hu R., et al. SAM 2: Segment Anything in Images and Videos // ArXiv. – 2024. – 42 p. – DOI 10.48550/arXiv.2408.00714.
4. Osco L., Wu Q., Lemos E., et al. The Segment Anything Model (SAM) for remote sensing applications: From zero to one shot // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2023. – Vol. 124. – 21 p. – DOI 10.1016/j.jag.2023.103540. – EDN IEGPAF.

5. Andrychowicz M., Espeholt L., Li D., et al. Deep Learning for Day Forecasts from Sparse Observations // ArXiv. – 2023. – 26 p. – DOI 10.48550/arXiv.2306.06079.
6. Price I., Sanchez-Gonzalez A., Alet F., et al. Diffusion-based ensemble forecasting for medium-range weather // ArXiv. – 2023. – 96 p. – DOI 10.48550/arXiv.2312.15796.
7. Бельшева Ю. В., Матерухин А. В. Проблема оценки качества пространственно-временных данных, получаемых от системы метеорологических наблюдений // Приложение к журналу «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка». Сборник статей по итогам научно-технической конференции. – 2020. – № 11. – С. 149–151. – EDN NTAPMW.
8. Alerskans E., Lussana C., Nipen T., et al. Optimizing Spatial Quality Control for a Dense Network of Meteorological Stations // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. – 2022. – Vol. 39. – Pp. 973–984. – DOI 10.1175/JTECH-D-21-0184.1. – EDN TGQMOM.
9. Clayden A.W. Photographing meteorological phenomena. A Lecture delivered before the Royal Meteorological Society, March 16, 1898 // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 1898. – Vol. 24. – Pp. 169–180. – DOI 10.1002/qj.49702410701.
10. Pro F., Dionelis N., Maiano L., et al. A Semantic Segmentation-Guided Approach for Ground-to-Aerial Image Matching // IGARSS 2024 – 2024 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – 2024. – Pp. 2630–2635. – DOI 10.48550/arXiv.2404.11302.
11. Ye J., He J., Li W., et al. SkyDiffusion: Ground-to-Aerial Image Synthesis with Diffusion Models and BEV Paradigm // ArXiv. – 2024. – 10 p. – DOI 10.48550/arXiv.2408.01812.
12. Zhu B., Ye Y., Dai J., et al. VDFT: Robust feature matching of aerial and ground images using viewpoint-invariant deformable feature transformation. – 2024. – Vol. 218. – Pp. 311–325. – DOI 10.1016/j.isprsjprs.2024.09.016. – EDN ZSOGKR.
13. Майоров А. А., Матерухин А. В., Бельшева Ю. В. Идентификация метеорологических явлений на основе видовой информации // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 5. – С. 85–97. – DOI 10.30533/GiA-2023-068. – EDN MQILGR.
14. Сидорова Л. П. Метеорология и климатология. Ч. 1. Метеорология. – Екатеринбург : УрФУ, 2015. – 198 с. – EDN YMYHPN.
15. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3., Ч. 1. – Л. : Гидрометеоздат, 1985. – 297 с.
16. Архив погоды в Корсакове [Электронный ресурс] // rp5.ru – URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Корсакове (дата обращения: 17.11.2024).

Об авторах

Юлия Владимировна Бельшева – старший преподаватель кафедры информационно-измерительных систем.

Олег Геннадьевич Гвоздев – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией «Лаборатория мониторинговых систем».

Андрей Викторович Матерухин – доктор технических наук, декан факультета геоинформатики и информационной безопасности.

Получено 29.01.2025

© Ю. В. Бельшева, О. Г. Гвоздев, А. В. Матерухин, 2025

Principles of automated interpretation and spatial data extraction from ground-based imagery considering spatiotemporal context

Yu. V. Belysheva¹, O. G. Gvozdev¹✉, A. V. Materukhin¹

¹Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

e-mail: gvozdev@miigaik.ru

Abstract. The challenge of insufficient availability of high-resolution spatiotemporal data, a concern affecting not just geoinformatics, which heavily depends on statistical analyses, field surveys, direct observations, and satellite imagery, but also other subject areas that rely on spatially and temporally referenced data is discussed in the paper. To address this deficiency, the extraction of spatial data from ground-based imagery is proposed as a solution. A conceptual scheme for automated extraction of spatial data from these images taking into account their spatiotemporal context is presented. The authors discuss an experimental study carried out on Sakhalin Island, which validated the applicability of the proposed method for detecting and locating different types of fog formations at the Pushisty airfield. Using ground-based imagery and minimum of additional meteorological inputs (such as wind direction and air humidity), the experiment achieved notable results with an F1 score of 0.85 and an intersection over union measure of 0.74. The study examined the constraints and limitations of the proposed method, thereby delineating clear pathways for future research endeavors and technological advancements.

Keywords: spatial data, automation, identification of meteorological phenomena, interpretation of ground-based images, artificial neural network

REFERENCE

1. Achiam O. J., Adler S., Agarwal S., & et al. (2023). GPT-4 Technical Report. 100 p. DOI 10.48550/arXiv.2303.08774.
2. Abramson J., Adler J., Dunger J., & et al. (2024). Accurate structure prediction of biomolecular interactions with AlphaFold 3 *Nature*. Vol. 630. Pp. 493–500. DOI 10.1038/s41586-024-07487-w. EDN XBTLYU.
3. Ravi N., Gabeur V., Hu R., & et al. (2024). SAM 2: Segment Anything in Images and Videos *ArXiv*. 42 p. DOI 10.48550/arXiv.2408.00714.
4. Osco L., Wu Q., Lemos E., & et al. (2023). The Segment Anything Model (SAM) for remote sensing applications: From zero to one shot *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 124. 21 p. DOI 10.1016/j.jag.2023.103540. EDN IEGPAF.
5. Andrychowicz M., Espeholt L., Li D., & et al. (2023). Deep Learning for Day Forecasts from Sparse Observations *ArXiv*. 26 p. DOI 10.48550/arXiv.2306.06079.
6. Price I., Sanchez-Gonzalez A., Alet F., & et al. (2023). Diffusion-based ensemble forecasting for medium-range weather *ArXiv*. 96 p. DOI 10.48550/arXiv.2312.15796.
7. Belysheva Yu. V., & Mateukhin A. V. (2020). Problema otsenki kachestva prostranstvenno-vremennykh dannyykh, poluchaemykh ot sistemy meteorologicheskikh nablyudeniyy *Prilozhenie k zhurnalul Izvestiya vu-zov. Geodeziya i aerofotos"emka. Sbornik statey po itogam nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Appendix to the journal Izvestiya Vuzovia Vuzov. Geodesy and aerial photography. Collection of articles on the results of scientific and technical conference]*. No. 11. Pp. 149–151. EDN NTAPMW [in Russian].
8. Alerskans E., Lussana C., Nipen T., & et al. (2022). Optimizing Spatial Quality Control for a Dense Network of Meteorological Stations *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Vol. 39. Pp. 973–984. DOI 10.1175/JTECH-D-21-0184.1. EDN TGQMOM.
9. Clayden A.W. (1899). Photographing meteorological phenomena. A Lecture delivered before the Royal Meteorological Society, March 16, 1898. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. Vol. 24. Pp. 169–180. DOI 10.1002/qj.49702410701.
10. Pro F., Dionelis N., Maiano L., & et al. (2024). A Semantic Segmentation-Guided Approach for Ground-to-Aerial Image Matching *IGARSS 2024 - 2024 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Pp. 2630–2635. DOI 10.48550/arXiv.2404.11302.
11. Ye J., He J., Li W., & et al. SkyDiffusion: Ground-to-Aerial Image Synthesis with Diffusion Models and BEV Paradigm *ArXiv*. 10 p. DOI 10.48550/arXiv.2408.01812.

12. Zhu B., Ye Y., Dai J., & et al. (2024). VDFT: Robust feature matching of aerial and ground images using viewpoint-invariant deformable feature transformation. Vol. 218. Pp. 311–325. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2024.09.016. EDN ZSOGKR.
13. Mayorov A. A., Materukhin A. V., & Belysheva Yu. V. (2023). Identifikatsiya meteorologicheskikh yavleniy na osnove vidovoy informatsii *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya vysokikh uchebnykh obrazovaniya. Geodesy and aerial photography]*. Vol. 67, No. 5. Pp. 85–97. DOI 10.30533/GiA-2023-068. EDN MQILGR [in Russian].
14. Sidorova, L. P. (2015). *Meteorologiya i klimatologiya. Chast' 1. Meteorologiya. [Meteorology and climatology. Part 1. Meteorology]* Ekaterinburg: UrFU. 198 p. EDN YMYHPN.
15. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam [Instructions for hydrometeorological stations and posts]* (1985). Leningrad: Gidrometeoizdat. V. 3., No. 1. 297 p.
16. Arkhiv pogody v Korsakove Retrieved from https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Корсакове (accessed 17.11.2024).

Author details

Yulia V. Belysheva – Senior Lecturer, Department of Information and Measurement Systems.

Oleg G. Gvozdev – Ph. D., Associate Professor, Head of the Youth Research Laboratory "Laboratory of Monitoring Systems".

Andrey V. Materukhin – D. Sc., Dean of the Faculty of Geoinformatics and Information Security.

Received 29.01.2025

© *Yu. V. Belysheva, O. G. Gvozdev, A. V. Materukhin, 2025*

УДК 528.9

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-52-63

Разработка справочно-поисковой системы изданных карт и атласов

Г. И. Загребин¹✉

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), г. Москва, Российская Федерация

e-mail: zagrebin@miigaik.ru

Аннотация. Рассматривается один из этапов автоматизированного определения структуры атласа (общегеографического, тематического, комплексного): формирование и использование справочно-поисковой системы изданных отечественных и зарубежных атласов, содержащей информацию об их структуре, а также перечень общегеографических и тематических карт. Справочно-поисковая система позволит при разработке структуры проектируемого атласа учесть опыт атласного картографирования на заданную территорию, определить наиболее востребованные разделы и темы карт. Дана технологическая схема системы поиска и хранения изданных карт и атласов, раскрыты этапы внесения редактором данных в систему поиска и хранения изданных карт и атласов. На примере картографического фонда кафедры картографии МИИГАиК разработана система поиска и хранения изданных карт и атласов.

Ключевые слова: атлас, справочно-поисковая система, структура атласа, базы данных, масштабный уровень

Для цитирования:

Загребин Г. И. Разработка справочно-поисковой системы изданных карт и атласов // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 52–63. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-52-63

Введение

На кафедре картографии МИИГАиК предложена концепция автоматизированного создания атласов [1], обобщающая решения по автоматизации процессов составления атласов, включающая следующие основные этапы:

- автоматизированное определение структуры атласа;
- выбор и построение математической основы атласа;
- формализация создания типовых географических основ атласа;
- формирование и визуализация справочной информации атласа;
- организация, хранение и использование пространственно-временных данных в электронных атласах.

Основопологающим и трудоемким этапом создания любого атласа является определение и разработка его структуры, под которой

в узком смысле при картографировании можно понимать состав и последовательность размещения разделов атласа, их строение и расположение карт в них. В зависимости от содержания и назначения атласа его структура может быть различной.

Одним из этапов автоматизированного определения структуры атласа (общегеографического, тематического, комплексного) является формирование и использование справочно-поисковой системы изданных отечественных и зарубежных атласов, содержащей информацию об их структуре, а также перечень общегеографических и тематических карт. Это позволит при разработке структуры проектируемого атласа учесть опыт атласного картографирования на заданную территорию, определить наиболее востребованные разделы и темы карт.

Работа с картами и атласами, особенно старыми, требует систематизации информации и ее представления в удобном для вос-

приятия виде с помощью современных технологий геоинформационного и веб-картографирования. В этом контексте все большую популярность приобретают справочно-поисковые системы, которые обеспечивают хранение, поиск и удаленный доступ к пространственным данным [2]. Помимо поиска карты по метаданным и отображения ее в отдельном окне становится все более необходимым отображение геопривязанной карты с наложением на нее других пространственных слоев [3], например, современных границ субъектов Российской Федерации.

В научных статьях [4–14] рассмотрены технологические аспекты проектирования справочно-поисковой системы. Авторы работ уделяют особое внимание проектированию базы метаданных картографических произведений. Работы выполнены на высоком уровне для решения конкретных задач, но не могут быть использованы для целей атласного картографирования в полном объеме. Также в исследованиях мало внимания уделяется математической основе атласов и карт. Накопление знаний о структуре атласов и математической основе карт позволит сформировать базы знаний по этим направлениям, что делает систему интересной не только для картографов, но и для разработчиков экспертных систем [15].

Для поиска карт атласа следует учитывать их принадлежность к атласу как к самостоятельному произведению, а также определять место в его структуре. Это, естественно, при-

ведет к накоплению больших данных о пространственной информации [16].

Методы и материалы

Описание карт хранится в реляционной базе данных в виде таблицы. В таблице содержится информация о каждой отдельной карте и ее параметрах: название, масштаб, формат карты, тематика карты, математическая основа и др. В случае размещения карты в атласе указывается идентификатор и номер страницы атласа. Пространственное поле содержит полигон внутренней рамки карты.

Для решения задачи описания принадлежности карты к атласу была создана дополнительная таблица, хранящая общую информацию об атласах: идентификатор атласа, название, количество страниц, формат, страна и город издания, издательство, год издания, назначение. У таблицы есть пространственное поле, хранящее полигон, соответствующий полному охвату атласа. Пространственное поле помогает найти атласы по пространственному признаку. Данные о картах атласа хранятся в другой таблице, которая содержит информацию как о самостоятельных картах, так и о картах из атласов. Связь атласов и их карт происходит по идентификатору атласа, который записан для каждой карты. Если карта является самостоятельным произведением, то идентификатор атласа равен нулю. Структура таблиц описания карт и атласов представлена в таблице.

Структура таблиц описания карт и атласов

Таблица	Поле	Тип	Описание
Таблица описания карт	ID_map	Целое	Идентификатор карты
	Name_ru	Строка	Название карты
	Number	Строка	Номенклатура карты/страница в атласе
	ID_atlas	Целое	Идентификатор атласа
	Scale	Целое	Знаменатель масштаба карты
	Year_publ	Целое	Год издания
	Publisher	Строка	Издательство
	Tematic	Строка	Тематика карты
	Width	Десятичное	Ширина карты в см
	Height	Десятичное	Высота карты в см
	Language	Строка	Язык издания
	Projection	WKT	Система координат карты
	Geom_map	WKB	Внутренняя рамка карты
Geom_img	WKB	Внешняя рамка карты	

Продолжение таблицы

Таблица	Поле	Тип	Описание
Таблица описания атласов	ID_atlas	Целое	Идентификатор атласа
	Name_ru	Строка	Название атласа
	Pages	Целое	Количество страниц
	Year_publ	Целое	Год издания
	Publisher	Строка	Издательство
	Tematic	Строка	Назначение атласа
	Width	Десятичное	Ширина карты в см
	Height	Десятичное	Высота карты в см
	Geom_full	WKB	Охват атласа
Structure	JSON	Структура атласа	

При таком подходе можно найти атлас по его атрибутам в таблице описания атласов, а по полученному идентификатору атласа найти все карты и страницы атласа в таблице описания карт; при этом в таблице содержится поле, которое указывает на номер страницы атласа. Полученная таблица даст информацию о страницах атласа и содержащихся на них картах.

Атлас представляет собой систематизированную совокупность карт, разделенную на составные части (разделы, подразделы), которые образуют иерархию, т. е. уровни составных частей атласа, между которыми существуют связи. Иерархия составных частей отличает атлас от других картографических произведений [17]. Хранение иерархической структуры атласов возможно следующими способами: непосредственно в базе данных с использованием таблиц связи; в виде файла XML; в виде строки json.

Кратко рассмотрим каждый из способов хранения структур атласа.

Хранение иерархических данных в реляционных структурах – задача нетривиальная и имеет ряд сложностей. В первую очередь это связано с тем, что реляционные базы данных не приспособлены к хранению иерархических структур, так как структура реляционных таблиц представляет из себя простые списки. Иерархические же данные имеют связь «родитель – наследники», которая не реализована в реляционной структуре. Тем не менее есть несколько подходов проектирования баз данных для хранения и обработки иерархических структур: список смежности (Adjacency List), материализованный путь (Materialized Path), вложенные множества (Nested Sets), таблица связей (Closure Table).

Список смежности – каждый объект хранит информацию о родительском объекте. Сложность реализации заключается в том, что родительский элемент не всегда является картой: это может быть раздел, страница, которые не хранятся в таблице карт.

Материализованный путь – каждая запись хранит полный путь к корневому элементу иерархической структуры.

Вложенные множества – запись хранит информацию о так называемых левом и правом ключах (об объектах на одном иерархическом уровне), а также уровне вложенности. Данный вариант организации структуры данных удобен для чтения, но более тяжело поддается модификации.

Таблица связей – связи между объектами хранятся в отдельной таблице, тогда как основная таблица содержит только данные о картах и атласах.

В реляционных базах данных хранение информации в виде иерархических структур является задачей с дополнительными накладными расходами. Такими дополнительными расходами могут быть как увеличение количества запросов, так и увеличение количества информации, которая служит для организации структуры данных. Построение иерархической структуры атласа будет сопряжено с большим количеством запросов и перебором всех объектов атласа, которые уже должны существовать. Таким образом, структуру можно будет сформировать только после сканирования и описания всех страниц атласа, но в некоторых случаях структуру атласа лучше формализовать до его сканирования. Для решения этих задач хранение структуры атласа непосредственно в базе данных не подходит и следует использовать другие технологии.

Удобным способом хранения иерархических данных является язык разметки XML. Можно создавать любую структуру. Разметка языка не ограничена, можно создавать разметку в соответствии с потребностями атласного картографирования. Язык легко обрабатывается программными средствами и одновременно удобен для чтения и создания документов человеком, создавался для использования в интернете. Плюсом данного подхода является возможность описать структуру атласа еще до сканирования карт, затем при наполнении таб-

лиц базы данных возможно сделать упрощенный выбор места карты в структуре атласа (выбор с «подсказкой»). Изменение структуры атласа в файле XML возможно провести как с помощью программных средств, так и вручную в текстовом редакторе. Из минусов стоит отметить, что файл необходимо хранить отдельно от базы данных, а также использовать дополнительные программные средства для объединения компонентов в единую систему. Схема связей между таблицами и XML представлена на рис. 1.

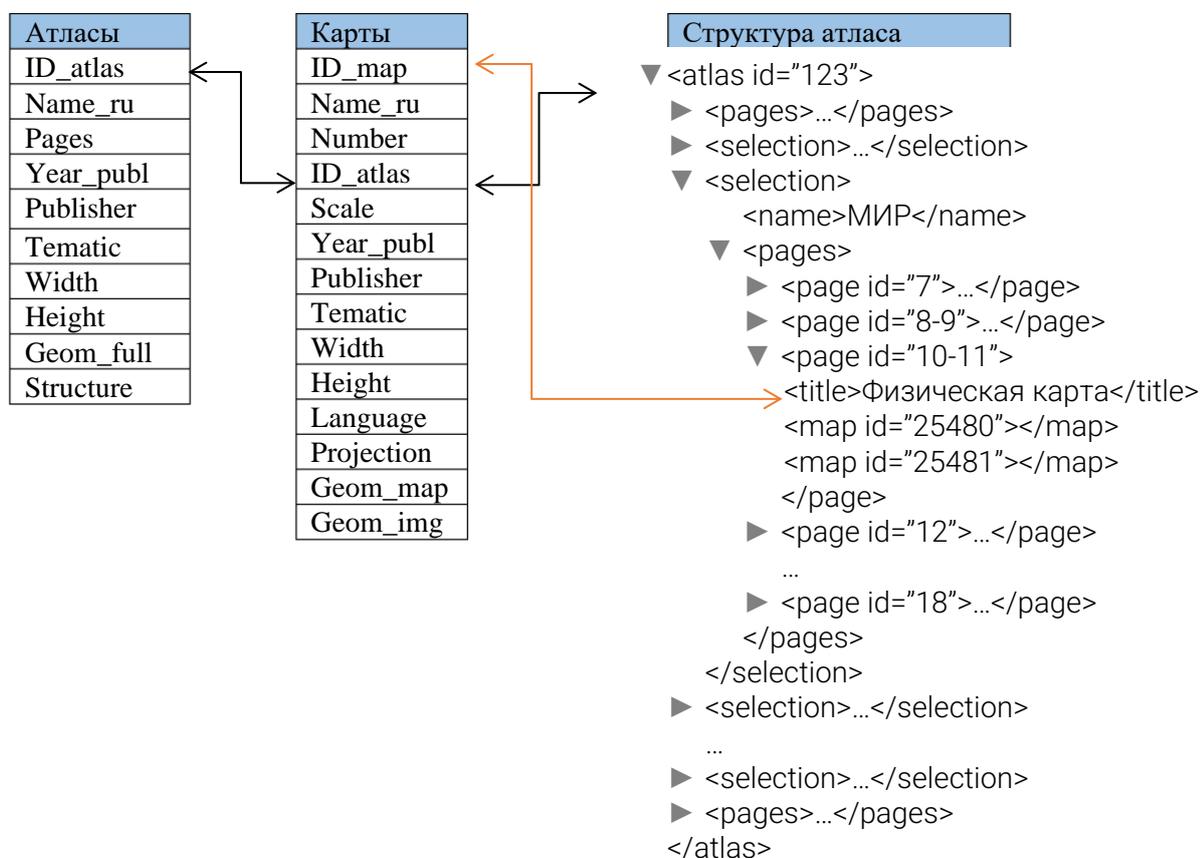


Рис. 1. Схема связей между таблицами и XML

Многими достоинствами XML обладает текстовый формат обмена данными, основанный на JavaScript JSON. Он более лаконичен, чем XML, занимает меньше памяти, быстрее обрабатывается программными средствами, хуже читается и правится людьми. Данный формат легче хранить в базе данных в отдельном текстовом поле в таблице описания атласов. Таким образом, отпадает необходимость хранения отдель-

ных текстовых файлов, но остается задача обработки кода JSON отдельно от записей базы данных (средствами JavaScript, а не SQL).

Результаты

Предлагаемая структура системы поиска и хранения изданных карт и атласов представлена на рис. 2.

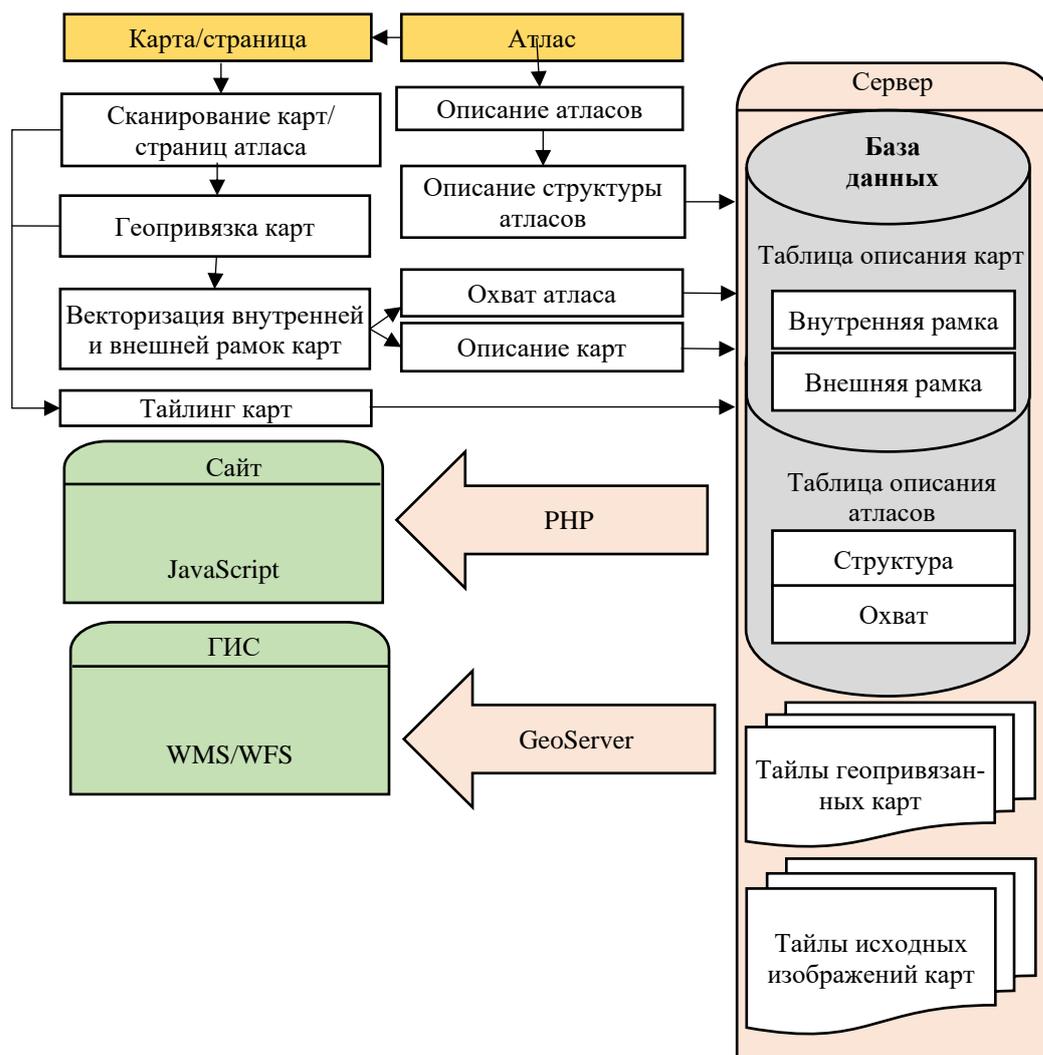


Рис. 2. Структура системы поиска и хранения изданных карт и атласов

Оптимальным является создание полностью самостоятельной системы на основе открытого программного обеспечения, которое позволяет более гибко управлять данными и визуализировать их. В основе системы лежит база данных PostgreSQL с расширением PostGIS, хранящая описания и геометрию объектов и реализующая межтабличные связи. База данных в совокупности с тайловыми слоями, хранящимися на сервере и программным кодом, реализованным на языке программирования php, представляют серверное ядро системы, в которое можно загружать данные карт и атласов и получать информацию о них. Клиентская часть реализована в виде страницы сайта с картографическим изображением, реализованном на библиотеке leafletjs, и системой поиска, написан-

ной на языке javascript. Для работы с системой из ГИС предусмотрен протокол передачи данных WMS/WFS, реализованный на серверной части посредством geoserver.

Более полная технологическая схема системы поиска и хранения изданных карт и атласов представлена на рис. 3.

Система поиска и хранения изданных карт и атласов предусматривает несколько сценариев использования.

Администрирование включает в себя поддержание и наполнение баз данных. Для этого предусмотрены роли администратора, редактора. Редактор может заносить новые записи и изменять существующие. При этом на нем лежит обязанность правильно указать все поля для карт при ее внесении, в том числе определение картографической проекции

и тематики карты. Редактор должен подготовить данные: геопривязанную карту в формате GeoTiff, тайловый слой.

ГИС-оператор подключается к системе посредством протоколов OGC: WMS-сервисы для растровых данных и WFS-

сервисы для векторных слоев (рамки карт). Таким образом, ГИС-оператор получает возможность читать данные и использовать их как исходный картографический материал, при этом растровые и векторные данные имеют геопривязку.

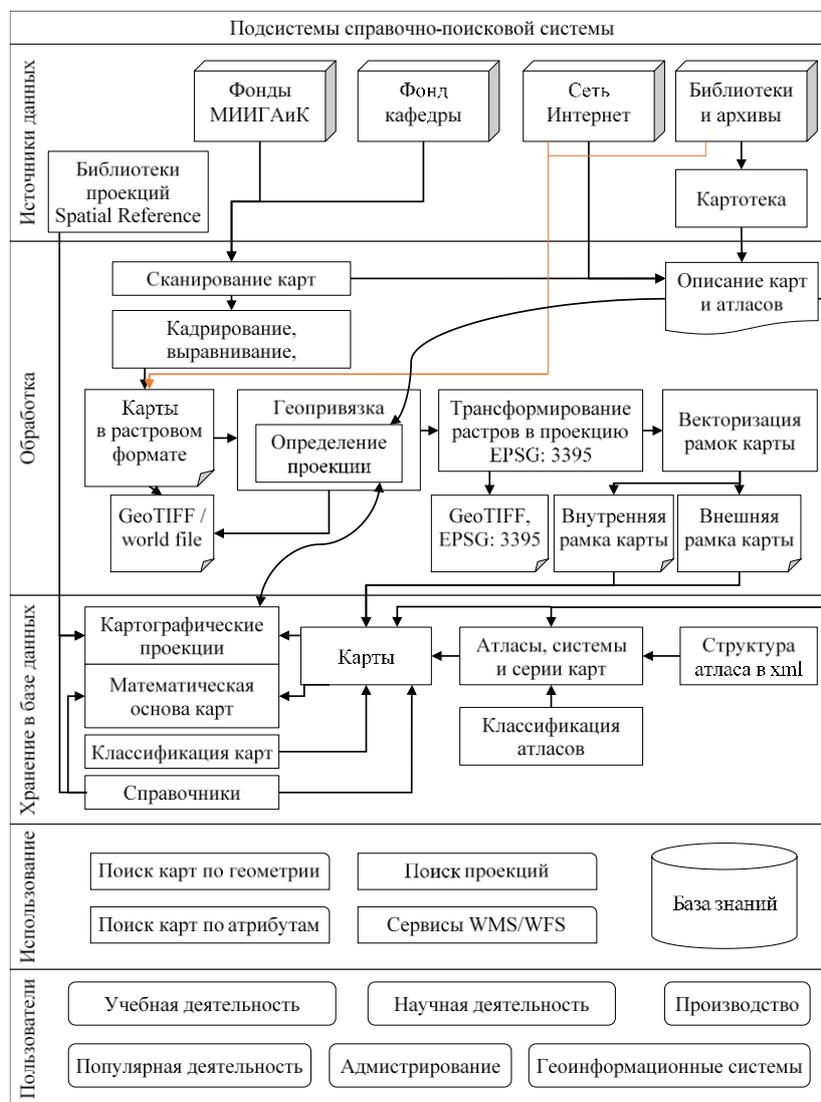


Рис. 3. Технологическая схема системы поиска и хранения изданных карт и атласов

Для научных и учебных целей предусмотрен ряд сервисов: поиск карт и атласов как по пространственному положению, так и по атрибутам. Наполнение базы данных позволяет получить сразу несколько сервисов, в том числе информацию для базы знаний в области математической основы изданных карт и применяемых картографических проекций карт и атласов. Полученную базу знаний возможно использовать в построении эксперт-

ных систем в области определения картографических проекций изданных карт и при выборе оптимальных элементов математической основы проектируемых карт и атласов.

Простые пользователи сети Интернет получают единую точку доступа к картографическим материалам посредством геопортала, в котором встроены поисковые функции по картам и атласам, а также возможен просмотр непосредственно на геопортале без привлече-

ния дополнительного программного обеспечения. Это позволяет популяризировать картографический метод исследования, дает большому кругу пользователей работать с архивными картографическими материалами. Это особенно актуально при ретроспективном анализе и изучению динамичных процессов во времени и пространстве.

Основная задача по наполнению геопортала ложится на редактора, который должен геопривязывать растровые данные и создавать векторные рамки карт с заполнением атрибутивных данных о картах и атласах. На рис. 4 показана технологическая схема внесения редактором данных в систему.

Этапы выполнения геопривязки общегеографической карты следующие:

- 1) поворот и кадрирование (при необходимости);
- 2) определение системы координат привязываемой карты;
- 3) создание картографической сетки;
- 4) установка контрольных точек;
- 5) трансформирование в проекцию растра;
- 6) векторизация рамки карты и рамки изображения;
- 7) тайлинг;
- 8) загрузка на сервер векторных рамок и тайлов.

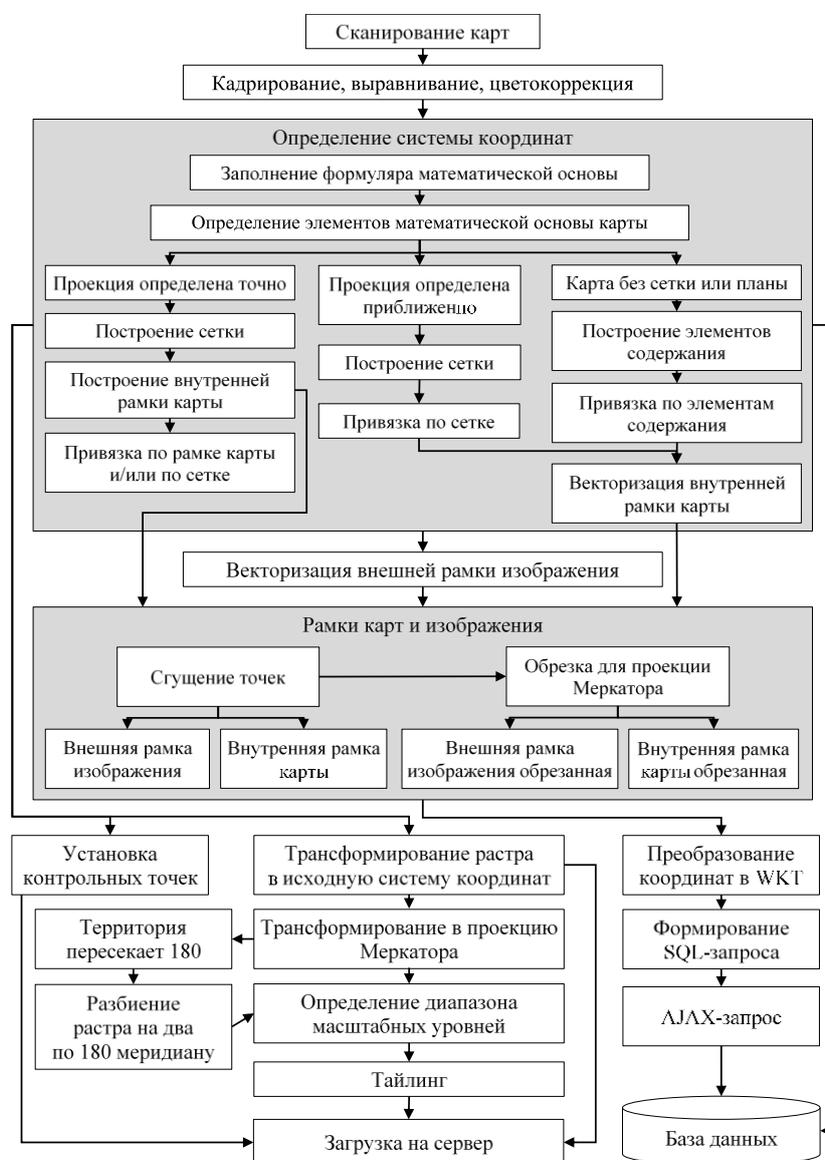


Рис. 4. Технологическая схема внесения редактором данных в систему поиска и хранения изданных карт и атласов

Для показа картографического изображения на геопортале необходимо нарезать карту на тайлы. Прежде чем выполнить нарезку, необходимо определить масштабные уровни. Минимальный масштабный уровень – 0, максимальный определяется по выведенной в рамках экспериментальных работ формуле

$$z = \log_2 (6\ 163\ 111,42\ D \cos(|\varphi|_{\min})/M), \quad (1)$$

где z – масштабный уровень для тайлинга – целое число, округляется в большую сторону; D – разрешение сканирования изображения (обычно 300 dpi); M – знаменатель масштаба карты; $|\varphi|_{\min}$ – минимальная широта картографического изображения по модулю: южная широта карты для северного полушария и северная широта для южного. Если карта на экваторе, то $|\varphi|_{\min} = 0$, иногда можно взять среднюю широту карты.

Обычно для мелкомасштабных карт z варьируется в диапазоне от 8 до 12.

После завершения процесса тайлинга в указанном каталоге сформируется дерево папок с тайлами. Загрузка векторных данных реализована через web-интерфейс посредством wkt-геометрии. Для каждой карты формируется отдельная страница посредством php-скрипта.

На начальном этапе на примере картографического фонда кафедры картографии МИ-ИГАиК разработана система поиска и хранения изданных карт и атласов, предназначенная для решения следующих задач:

- хранение оригиналов сканированных карт;
- хранение геопривязанных карт;
- хранение описаний карт;
- хранение описаний и структуры атласа;
- хранение рамок карт (внутренних и внешних);
- поиск по пространственному положению и описанию карт и атласов;
- отображение структуры атласа;
- отображение геопривязанных и оригинальных карт;
- реализация доступа к геопривязанным картам посредством протоколов передачи данных по сети Интернет (WMS/WFS доступ).

Обсуждение

Важную часть любого картографического фонда составляют атласы и их содержание в виде карт разных масштабов, тематики, территориального охвата. В отличие от карт, представляющих отдельные произведения, в таблице базы данных атласа записано пространственное поле, хранящее полигон, соответствующий полному охвату атласа. Таким образом, атласы содержат два уровня охвата: охват атласа в целом и охват каждой карты атласа.

Следует отметить, что для разработки структуры атласа одной справочно-поисковой системы недостаточно, поскольку для целого ряда тематических карт нет устоявшихся разделов, их названий и состава карт, а подобные исследования, направленные на систематизацию тем карт, немногочисленны.

Расширить поиск карт можно путем использования развернутой классификации тематических карт. Так, на примере новой системы классификации и кодирования геофизических карт [18], учитывающей все их многообразие, разработана справочно-поисковая система, позволяющая осуществлять автоматизированный поиск изданных карт геофизических полей в зависимости от комбинации значений каждого критерия классификации, выбранных пользователем в интерактивном режиме. Результатом выбора является список изданных геофизических карт, соответствующих требованиям пользователя. Таким образом, система позволяет любому пользователю вне зависимости от его картографической подготовки осуществлять поиск карт внутри тематической группы.

Заключение

Наполнение базы данных позволяет получить сразу несколько сервисов, которые могут быть полезны учащимся вузов, ученым, специалистам и любителям картографии. При этом работать с системой можно как в web-интерфейсе, так и с помощью геоинформационных систем посредством WMS/WFS-протоколов.

Для поиска карт атласа следует учитывать их принадлежность к атласу как к самостоятельному произведению, а также определять

место в его структуре. Расширить поиск карт можно путем использования полной классификации тематических карт. Для отображения карт полярных областей необходимо использовать азимутальную проекцию.

Оптимальным является создание полностью самостоятельной системы на основе открытого программного обеспечения, которое позволяет более гибко управлять данными и визуализировать их.

Наполнение базы данных изданных карт и атласов позволяет получить несколько

сервисов для широко круга потребителей. Также система поиска и хранения изданных карт и атласов применяется в методике автоматизированного определения структуры атласа.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания FSFE-2023-0005 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылов С. А., Загребин Г. И., Дворников А. В., Логинов Д. С., Фокин И. Е. Теоретические основы автоматизации процессов атласного картографирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т. 62. – № 3. – С. 283–293. – DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-3-283-293 – EDN XRGBFZ.
2. Блискавицкий А. А., Боголюбский А. Д., Суханов М. Г., Юон Е. М. Новые возможности картографической информационно-поисковой системы (КИПС) ГБЦГИ: интеграция и поддержка обеспечения качества данных, веб-доступ // Геоинформатика. – 2010. – № 2. – С. 7–22. – EDN MNJXWZ.
3. Голяшева М. А. Поиск картографических материалов: от библиотечных картотек к возможностям геопорталов // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы Международной конференции ИнтерКарто-ИнтерГИС-18. Смоленск. – Смоленск. – 2012. – С. 131–136. – EDN SQUEZP.
4. Голяшева М. А. Особенности создания картографической информационно-поисковой системы для картфондов универсального профиля // Мир науки, культуры, образования. – 2014. – № 4 (47). – С. 405–408. – EDN SYAAEX.
5. Голяшева М. А. Принципы разработки картографической информационно-поисковой системы Российской государственной библиотеки // Геодезия и картография. – 2013. – № 10. – С. 50–56. – EDN SFFDKN.
6. Иванов А. Г., Капчиц Б. З. Обзор состояния картографических фактографических информационно-поисковых систем // Геодезия и картография. – 1977. – № 8. – С. 61.
7. Иванов А. Г., Панарин В. И., Молодых А. Е. Автоматизированная информационно-поисковая система географических названий // Геодезия и картография. – 1975. – № 6. – С. 6.
8. Майоров А. А., Зайцев В. В. База метаданных хранилища геоданных // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 5. – С. 92–95. – EDN UIYCPF.
9. Смирнов Н. И., Абдуллин Р. К., Кашаева Ю. А., Фотеева П. С. Разработка информационного веб-ресурса «Наследие картографов Урала середины XVIII – начала XX вв.» // Географический вестник. – 2018. – № 3 (46). – С. 115–126. – DOI 10.17072/2079-7877-2018-3-115-126. – EDN PAWNNL.
10. Маркова О. И., Тикунов В. С. Атласные информационные системы для охраны природного и культурного наследия // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 5–22. – DOI 10.35595/2414-9179-2024-1-30-5-22. – EDN NCPKVV.
11. Hongyun Song, Jiangqi Zhang, Ming Li, Jia Li (2018). The analysis about solving the problems of designing and collecting metadata of the historic map reference // Proceedings, 7th International Conference on Cartography and GIS, 18–23 June 2018, Sozopol, Bulgaria. – Pp. 47–54. – DOI 10.3390/ijgi9070444. – EDN NWUSVI.

12. Kuźma M., Bauer H. Map Metadata: the Basis of the Retrieval System of Digital Collections // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020. – 9 (7). – DOI 10.3390/ijgi9070444. – EDN NWUSVI.
13. Kuźma, M. and Mościcka, A. Metadata evaluation criteria in respect to archival maps description: A systematic literature review // The Electronic Library. – Vol. 38 No. 1. – Pp. 1–27. – DOI 10.1108/EL-07-2019-0161. – EDN XQPISH.
14. Jia, F., Yang, J., Ding, L., Wang, G., & Song, G. An ontology-based semantic description model of ubiquitous map images // Transactions in GIS. – 28. – P. 457–485. – DOI 10.1111/tgis.13144. – EDN LZWGHL.
15. Майоров А. А. Новые системы хранения пространственной информации // Перспективы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 25–30. – EDN RDMJZD.
16. Крылов С. А., Загребин Г. И., Дворников А. В., Логинов Д. С. Особенности организации поиска и отображения изданных карт и атласов с помощью геопорталов // От карты прошлого – к карте будущего : сб. науч. тр. : В 3 т. / отв. ред. С. В. Пьянков; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2017. – Т. 1. – С. 167–176.
17. Макаренко А. А., Загребин Г. И. Принципы организации структуры атласов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 2. – С. 63–66. – EDN YORPLX.
18. Логинов Д. С., Крылов С. А. Разработка новой классификации геофизических карт // Геодезия и картография. – 2017. – Т. 78. – № 5. – С. 26–33. – DOI 10.22389/0016-7126-2017-923-5-26-33. – EDN YSKVIX.

Об авторах

Глеб Игоревич Загребин – кандидат технических наук, декан картографического факультета.

Получено 21.01.2025

© Г. И. Загребин, 2025

Development of a reference-search system for published maps and atlases

*G. I. Zagrebin*¹✉

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Moscow, Russian Federation
e-mail: zagrebin@miigaik.ru

Abstract. In this study, one phase within the automatic determination of an atlas structure – whether it is general geographical, thematic, or comprehensive – is examined. The focus lies on how a reference-search system is formed and used to catalog domestic and international atlases. The system provides detailed structural information on each atlas along with inventories of general-purpose and specialized maps they contain. The reference-search system enables designers to incorporate existing cartographic expertise specific to a particular region while developing the structure of new atlases. It helps identify the most popular sections and map topics. Additionally, a technological framework for searching and archiving published maps and atlases was outlined, detailing the steps involved in editors entering data into the system. As an illustration, such a system was implemented based on the cartographic collection held by the Department of Cartography at Moscow State University of Geodesy and Cartography.

Keywords: atlas, reference-search system, atlas structure, database, scale level

REFERENCE

1. Krylov, S. A., Zagrebin, G. I., Dvornikov, A. V., Loginov, D. S., Fokin, I. E. (2018). Theoretical basics of the automatization of atlas mapping processes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy Geodeziya i aerofotos"yemka* [News of higher educational institutions Geodesy and aerial photography], 3 (62), 283–293. – DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-3-283-293. EDN XRGBFZ [in Russian].
2. Bliskavitsky, A. A., Bogoljubsky, A. D., Soukhanov, M. G., Yuon, E. M. (2010). New scopes of cartographic information retrieval system (CIRS) of sbdgi: integration and data quality providing support, web-access. *Geoinformatika* [Geoinformatics], 2, 7–22. EDN MNJXWZ [in Russian].
3. Golyasheva, M. A. (2012). Advancing the search for cartographic materials: from library cards to geoportals. *InterCarto. InterGIS* [InterCarto. InterGIS]. 18, 131-136. EDN SQUEZP [in Russian].
4. Golyasheva, M. A. (2014). Methods of creating a cartographic information retrieval system for library map collections. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya* [The world of science, culture, and education], 4 (47), 405–408. EDN SYAAEX [in Russian].
5. Golyasheva, M. A. (2013). Principals of cartographic information searching system elaboration of the Russian State Library. *Geodesy and cartography* [Geodesy and Cartography], 10, 50–56. EDN SFFDKN [in Russian].
6. Ivanov, A. G., Kapchic, B. Z. (1977). Overview of the state of cartographic factual information and search systems. *Geodesy and cartography* [Geodesy and Cartography], 8, 61 [in Russian].
7. Ivanov, A. G., Panarin, V. I., Molodyh, A. E. (1975). Automated geographic names information and search engine. *Geodesy and cartography* [Geodesy and Cartography], 6, 6 [in Russian].
8. Maiorov, A. A., Zajcev, V. V. (2013). The metadata database of the geodata repository. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy Geodeziya i aerofotos"yemka* [News of higher educational institutions Geodesy and aerial photography], 5, 92-95. EDN UIYCPF [in Russian].
9. Smirnov, N. I., Abdullin, R. K., Kashaeva, Yu. A., Foteeva, P. S. (2018). The development of a web-resource “Heritage of the Ural cartographers of the mid-18th – early 20th centuries”. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical bulletin], 3(46), 115–126. – DOI 10.17072/2079-7877-2018-3-115-126. EDN PAWNNL [in Russian].
10. Markova, O. I., Tikunov, V. S. (2024). Atlas information systems for the protection of natural and cultural heritage. *InterCarto. InterGIS* [InterCarto. InterGIS]. Moscow: MSU, Faculty of Geography, 2024. V. 30. Part 1. P. 5–22. – DOI: 10.35595/2414-9179-2024-1-30-5-22. EDN NCPKVV [in Russian].
11. Hongyun Song, Jiangqi Zhang, Ming Li, Jia Li (2018) The analysis about solving the problems of designing and collecting metadata of the historic map reference // *Proceedings, 7th International Conference on Cartography and GIS*, 18–23 June 2018, Sozopol, Bulgaria. Pp. 47–54. DOI 10.3390/ijgi9070444. EDN NWUSVI.
12. Kuźma, M., & Bauer, H. (2020) Map Metadata: the Basis of the Retrieval System of Digital Collections. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), 444. DOI 10.3390/ijgi9070444. – EDN NWUSVI.
13. Kuźma, M. and Mościcka, A. (2020) Metadata evaluation criteria in respect to archival maps description: A systematic literature review, *The Electronic Library*, Vol. 38 No. 1, pp. 1–27. DOI 10.1108/EL-07-2019-0161. EDN XQPISH.
14. Jia, F., Yang, J., Ding, L., Wang, G., & Song, G. (2024) An ontology-based semantic description model of ubiquitous map images. *Transactions in GIS*, 28, 457–485. DOI 10.1111/tgis.13144. EDN LZWGHL.
15. Maiorov, A. A. (2013). New storage of spatial information. *Perspektivy nauki i obrazovaniya* [Perspective of science and education], 5, 25–30. EDN RDMJZD [in Russian].
16. Krylov, S. A., Dvornikov, A. V., Zagrebin, G. I., Loginov, D. S. (2017). Organization features of search and display of published maps and atlases with geoportals. *Ot karty proshlogo – k karte budushhego, T.1* [From the maps of the past – to the maps of the future, Vol.1], *International conference «From the maps of the past – to the maps of the future»*, Perm, Russia, 2017, pp. 167–177 [in Russian].

17. Makarenko, A. A., Zagrebin G. I. (2017). Principles under which the structure of atlases is organized. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy Geodeziya i aerofotos"yemka* [News of higher educational institutions Geodesy and aerial photography], , 2, 63-66. EDN YORPLX [in Russian].

18. Loginov, D. S., Krylov, S. A. (2017). The development of geophysical maps' new classification. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodesy and cartography* [Geodesy and Cartography], 5(78), 26-33. EDN YSKVIX [in Russian].

Author details

Gleb I. Zagrebin – Ph. D., Dean of the Faculty of Cartography.

Received 21.01.2025

© *G. I. Zagrebin*, 2025

УДК 528.9:004.925.8

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-64-74

Проблемы геоинформационного моделирования объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга (часть 1)

А. А. Костерева¹, М. Р. Вагизов¹✉

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: bars-tatarin@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема геоинформационного моделирования объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга. Авторы анализируют существующий опыт создания цифровых моделей исторических парков и выявляют ключевые трудности этого процесса. Основное внимание уделяется разработке методики моделирования парковых территорий, включающей обработку исторических данных и современных измерений. Исследователи отмечают важность интеграции разнородных источников информации для создания точных цифровых моделей. Разработанные подходы имеют практическое значение для сохранения культурного наследия и современного использования садово-парковых зон города, что делает исследование актуальным для специалистов в области охраны памятников и городского планирования.

Ключевые слова: геоинформационное моделирование, объекты культурного наследия, ландшафтная архитектура, Санкт-Петербург, сохранение наследия, реставрация, геоинформационные технологии, цифровые модели, парки, сады, дворцово-парковые ансамбли

Для цитирования:

Костерева А. А., Вагизов М. Р. Проблемы геоинформационного моделирования объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга (часть 1) // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 64–74. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-64-74

Введение

Геоинформационное моделирование является одним из эффективных инструментов, позволяющих решать задачи сохранения и исследования объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры (далее ОКН ЛА).

В статье рассматриваются проблемы моделирования объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга с применением технологий геоинформационного моделирования.

Санкт-Петербург – город с богатой историей и культурой, который обладает огромным количеством объектов культурного наследия. В нем порядка 9 000 объектов культурного наследия [1]. Эти объекты представляют собой уникальные дворцово-парковые ансамбли, парки и сады, которые требуют

особого внимания при сохранении их первоначального облика. Однако по отметкам специалистов, большинство этих объектов нуждаются в капитальном ремонте и реставрации [2], а также в моделировании будущего состояния данных объектов.

Целью данного исследования является выявление и анализ проблем, возникающих при геоинформационном моделировании объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга, а также разработка рекомендаций по их решению.

Задачи исследования

1. Анализ опыта создания геоинформационной модели ОКН ЛА.
2. Выявление алгоритма создания геоинформационной модели для ОКН ЛА.

3. Выявление проблем, возникающих при геоинформационном моделировании объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга.

4. Разработка рекомендаций по решению выявленных проблем и совершенствованию процесса геоинформационного моделирования объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга.

Материалы и методы

Для того чтобы выявить проблемы моделирования ОКН ЛА, следует определить основные методы и подходы данного процесса, а также необходимое программное обеспечение.

Материалы и методы исследования проблем геоинформационного моделирования объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга включают в себя:

- инструменты геоинформационного моделирования (ГИС, система 3D-визуализации);
- научную литературу;
- геопространственное обеспечение сбора информации ОКН ЛА;
- математические модели изменения объекта в пространстве.

Ход исследования

В рамках исследования был изучен опыт смежных зарубежных и российских исследований, касающийся создания геоинформационных моделей.

На исторических объектах активно применяются геоинформационные технологии, например, при восстановлении Александровского парка. На момент начала работ состояние горы Парнас в парке оценили как неудовлетворительное. С помощью ГИС-технологий и методов фотосканирования с беспилотных летательных аппаратов (БЛА) создали трехмерную модель местности. После интеграции этой модели в общую систему удалось объективно оценить проект и разработать дополнительные меры по реставрации горы Парнас [2, 3].

В Турции с помощью ГИС-технологий создали 3D-модель погребального памятника Коммагенского царства методом наземной

фотограмметрии. Он основан на измерении объектов по фотографиям. В рамках исследования было сделано 62 фотографии модели с разных ракурсов. Затем с помощью программного обеспечения Agisoft PhotoScan были обработаны фотографии и созданы трехмерные модели с плотным облаком точек и наложенными текстурами [4].

В Японии использовали успешный подход геоинформационного моделирования и VR-технологий. Восстановили исторический городской пейзаж Осаки в VR-пространстве, построили 3D-модель города Осаки начала Нового времени. Смоделировали исторический центр и основные здания храма Ситэнно по чертежам и гравюрам [5, 6].

Кроме того, был рассмотрен ряд научных статей, посвященных геоинформационному моделированию объектов культурного наследия. Авторы этих работ стремятся предложить новые подходы, методы и технологии, которые помогут сохранить и передать будущим поколениям уникальные памятники архитектуры и истории. В работах [7, 8] изучаются основы геоинформационного моделирования, различные способы создания исходной модели, такие как лазерное сканирование и фотограмметрия, и использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и дополненной реальности. В работах [9–13] рассматриваются основные понятия и принципы работы технологий дополненной (AR) и виртуальной (VR) реальности, а также примеры их применения для сохранения объектов культурного наследия. В [14] и [15] описываются возможности прогнозирования роста городских насаждений.

Таким образом, проанализированные работы авторов из разных стран Европы, Азии и Америки позволяют выстроить логическую цепочку создания модели в дополненной реальности и ее последующего внедрения в существующую среду. Помимо этого было установлено, что использование геоинформационных моделей не ограничивается только сохранением культурного наследия. Их также можно применять в других сферах, таких как горная промышленность или прогнозирование развития городских зеленых зон. Технологии виртуальной и дополненной реальности также могут быть полезны для создания геоинформационных моделей.

Анализ опыта позволил выявить, что для создания геоинформационной модели требуются данные, которые описывают положение объекта в пространстве и времени, а также его изменение со временем [16].

Эти данные включают [17]:

- географические данные (геоданные), описывающие свойства объектов и явления на земной поверхности или в недрах земли;
- топографические карты для определения границ и характеристик местности;
- данные дистанционного зондирования (например, спутниковые снимки) для получения актуальной информации о поверхности Земли;
- атрибутивные данные, описывающие характеристики объектов на карте (тип растительности, тип почвы, высота зданий и т. д.);
- пространственные данные, которые дают достаточно информации для привязки моделируемого объекта к системе координат (координаты объектов, векторные данные, растровые данные);
- временные данные, которые включают дату и время сбора данных;
- метаданные, описывающие происхождение, качество и методы обработки данных;

– базы данных для хранения и управления информацией.

При моделировании парковых территорий, помимо топографических карт и аэро- и космоснимков, необходимы данные о полевых съемках и обследовании объекта. Это помогает понять состояние дорожно-тропиночной сети и малых архитектурных форм.

Одной из главных частей при моделировании парковой структуры являются насаждения. Для понимания их конфигурации необходима инвентаризация зеленых насаждений, которая позволяет получить информацию о видовом составе, состоянии и характеристиках габитуса.

Для прогнозирования развития парковой территории с помощью геоинформационного моделирования необходимы временные ряды, представляющие собой упорядоченные во времени наборы изменений характеристик исследуемого объекта или процесса. Для учета влияния внешних факторов на парковую структуру необходимо учитывать данные о загрязнении окружающей среды близлежащими производствами или магистралями.

Блок-схема, отражающая структуру геоинформационной модели с учетом особенностей ландшафтного объекта, показана на рис. 1.

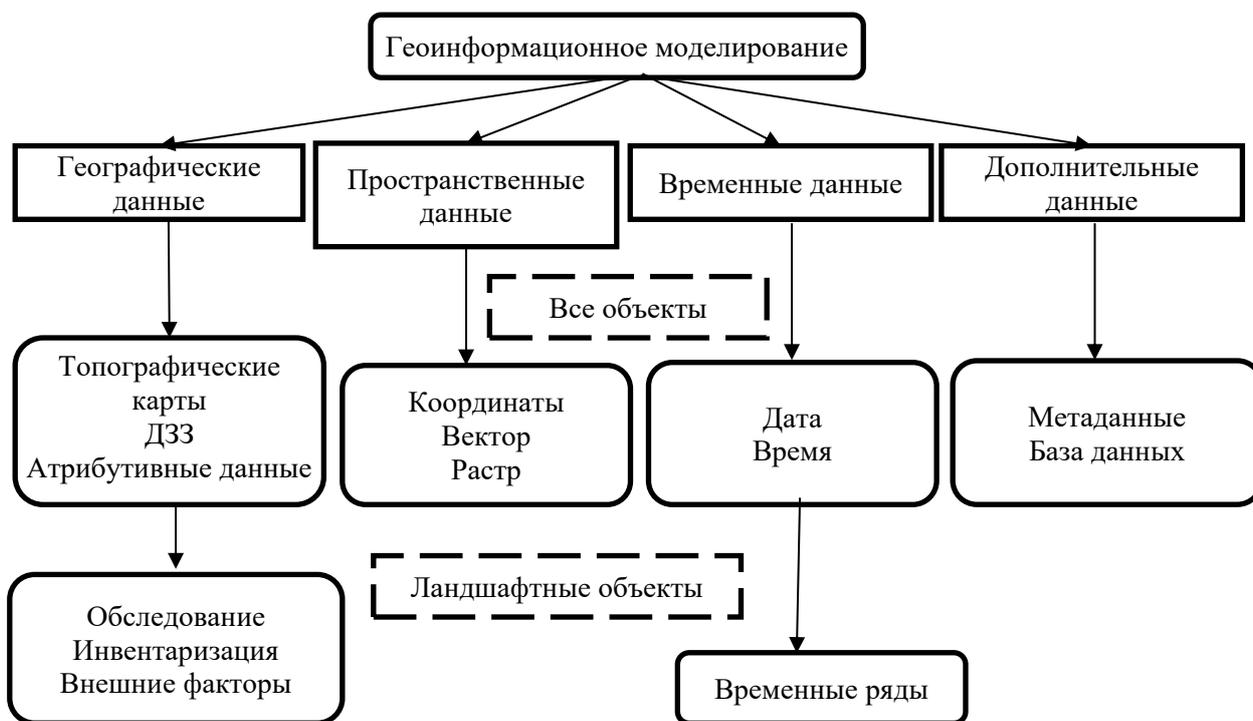


Рис. 1. Структура геоинформационной модели с учетом особенностей ландшафтного объекта

При создании геоинформационной модели возникают определенные проблемы [18], которые глобально можно разделить на проблемы изменчивости и утраты объектов культурного наследия, вызывающие вопросы при поиске опорных документов для моделирования и выбора конкретного

временного периода моделирования; проблемы технического характера, включающие вопросы интеграции виртуальной модели в реальное пространство; и проблемы прогнозирования дальнейшего развития ландшафтного объекта в структуре города (рис. 2).

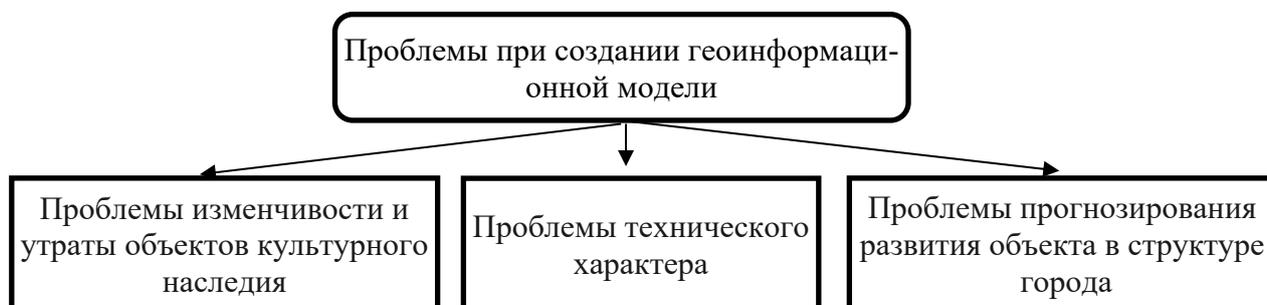


Рис. 2. Проблемы при создании геоинформационной модели

Проблема утраты объектов культурного наследия или изменчивости их внешнего вида целиком или частично в контексте моделирования может быть обозначена несколькими тезисами.

Ландшафтные объекты, как объекты живые, постоянно видоизменяются. Эти изменения связаны как с внешними факторами, влияющими на объект, так и с внутренними.

К внешним факторам можно отнести антропогенную нагрузку и изменение градостроительной ситуации, которое ведет за собой появление новых маршрутов, элементов обслуживания парка, придание парку новых функций, что часто встречается в странах Содружества Независимых Государств (далее СНГ), в которых изменение типа собственности часто вело к тому, что бывшие в частом владении усадебные сады и парки становились общественным достоянием (например, парки советского периода). Такие изменения приводят к появлению наслоений разных исторических эпох и невозможности физического отделения одной эпохи от другой. К такому же результату приводят внутренние изменения в структуре ландшафтного объекта, связанные с перепланировками и реконструкциями объекта в течение его существования.

При этом влияние антропогенных факторов, приводящих к изменению гидрологической ситуации, состава почв и загрязнения

воздуха, влечет за собой необратимые последствия для зеленых насаждений, входящих в садово-парковую структуру. Со временем становится невозможным поддержание изначального ассортимента растений и ландшафтный объект меняет свой внешний облик.

Для минимизации влияния этой проблемы на геоинформационную модель необходимо подвергать моделируемый объект детальному изучению с обращением в архивы и поиском всей доступной информации об объекте, включать в изучение все периоды его существования и выявлять ключевые моменты, которые характеризуют каждый период.

Технические проблемы геоинформационного моделирования объектов ландшафтной архитектуры включают в себя сложность сбора и интеграции разнородных данных, необходимость обеспечения высокой точности и актуальности данных, а также выбор подходящих инструментов и методов моделирования.

Сложность сбора и интеграции данных обусловлена несколькими факторами.

Низкая доступность цифровых пространственных данных. В настоящее время большая часть данных об ОКН ЛА существует на бумажных носителях, которые приходится оцифровывать самостоятельно. Несмотря на то, что сейчас в структуры садово-паркового

хозяйства активно вводится использование ГИС-систем, при моделировании исторических объектов приходится сталкиваться с множеством данных в разных масштабах и на разных носителях, что негативно влияет на процесс моделирования. Каждый источник данных имеет свои особенности и требования к обработке, что усложняет процесс их слияния в единую модель. Обеспечение точности и актуальности данных является критически важным для создания достоверной модели. Точность данных зависит от качества исходных материалов и методов их обработки, а актуальность – от частоты обновления данных. Несоблюдение этих требований может привести к искажению результатов моделирования [16].

Выбор инструментов и методов моделирования также представляет собой сложную задачу. Существует множество программных продуктов и методов моделирования, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, в связи с чем возникают определенные проблемы.

1. Использование разных программно-инструментальных оболочек для выполнения отдельных этапов технологического процесса может привести к проблемам при конвертировании больших объемов пространственных данных из одного формата в другой [19]. При этом отсутствие единых требований к формам представления и точности исходных данных, а также к системам их хранения может приводить к дублированию и противоречию в данных, получаемых из разных источников [20].

2. Индивидуальность. У каждого пользователя существует конкретный набор задач, которые решаются разными программными средствами, что требует разработки индивидуального подхода к моделированию [19].

Главная проблема геоинформационного моделирования – прогнозирование развития садово-парковой структуры, что связано с ее многообразием и изменчивостью. При разделении парковой структуры на составные элементы можно выделить четыре категории [21] насаждений, архитектурные элементы и малые архитектурные формы (МАФ), гидротехническую систему и планировочную структуру.

Развитие насаждений спрогнозировать возможно, опираясь на зарубежный опыт [14] и на понимание того, что у растений есть предполагаемый размер во взрослом состоянии и данные о среднегодовом приросте [22]. При этом существует информация о том, какие негативные факторы оказывают влияние на развитие растения и как их можно объединить с ожидаемым развитием дерева и прогнозировать его рост, болезни, особенности развития и вероятные преждевременные отпады. Как следствие, такие данные дают возможность прогнозирования потенциальных возобновлений посадок и необходимых уходов.

При этом такие элементы, как малые архитектурные формы и архитектурные сооружения, довольно статичны, и, с одной стороны, прогноз их поведения со временем очевиден: они глобально не изменятся, за исключением естественных процессов старения. Однако необходимо также учитывать факторы, которые невозможно предугадать. Например, естественные катаклизмы, такие как наводнения, пожары и т. п., которые невозможно предсказать, но которые при этом могут кардинально повлиять на состояние архитектурного сооружения или МАФ.

В то же время существует также планировочная структура, которую составляют дорожно-тропиночная сеть и площадки. Изменчивость планировочной структуры обусловлена множеством как внутренних, так и внешних факторов. Изменение градостроительной ситуации, появление точек притяжения, остановок общественного транспорта и станций метро ведет к образованию транзитных маршрутов и необходимости расширения некоторых существующих дорог.

В качестве объекта исследования и последующего моделирования был выбран парк «Екатерингоф» (рис. 3), поскольку он одновременно нуждается в возобновлении и имеет богатую историю, разделенную на несколько этапов развития, с каждым из которых можно провести отдельную работу и создать модель. Парк является объектом культурного наследия регионального значения.



Рис. 3. План парка «Екатерингоф» по данным ресурса RGIS

В настоящее время в парке существуют определенные проблемы, требующие незамедлительной проработки, часть из которых можно решить при помощи ГИС-систем.

1. Утрата исторического наполнения парка. По мере развития структуры парка и окружающего его города менялось наполнение парка, реконструировался дворец, изменялась планировочная структура в связи с появлением новых точек притяжения, насаждений, в соответствии с изменением планировочной структуры и гидрологического режима [23].

2. Необходимость восстановления. В настоящее время парк находится в упадке, существующие элементы наполнения разрушаются и постепенно выводятся из парка. В парке нет точек притяжения для посетителей. Также требуется расчистка водоемов, уход за планировочной структурой и насаждениями [24].

3. Невозможность выбора конкретного этапа для восстановления. В истории развития парка «Екатерингоф» можно выделить пять этапов развития, каждый из которых характеризуется собственной планировочной структурой и наполнением. Со временем элементы из разных этапов наслаивались друг на друга и их физическое разделение стало невозможным. Если выделить один этап для восстановления, придется пожертвовать элементами из других этапов, которые также являются исторической ценностью и входят в предмет охраны парка [24].

Результаты и обсуждение

В ходе исследования были выявлены следующие проблемы геоинформационного моделирования объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры Санкт-Петербурга:

- проблемы изменчивости и утраты объектов культурного наследия, которые вызывают вопросы при поиске опорных документов для моделирования и выбора конкретного временного периода моделирования;
- проблемы технического характера, включающие проблему интеграции виртуальной модели в реальное пространство;
- проблемы прогнозирования дальнейшего развития ландшафтного объекта в структуре города.

Для решения этих проблем был выбран объект исследования – парк «Екатерингоф». Он является одним из старейших парков Санкт-Петербурга, обладает богатой историей и является объектом культурного наследия.

Предлагаемая авторами методика геоинформационного моделирования для ОКН ЛА включала в себя следующие этапы:

- сбор и анализ исторических и архивных данных о парке «Екатерингоф» (о каждом из этапов развития);
- проведение полевых исследований для сбора данных о текущем состоянии парка;
- создание трехмерной модели каждого исторического этапа парка с использованием геоинформационных технологий;

– прогнозирование дальнейшего развития парка;

– анализ полученных данных и разработка рекомендаций по сохранению и восстановлению парка.

В результате исследования будет создана трехмерная модель парка «Екатерингоф», которая позволит визуализировать исторические этапы и текущее состояние парка, выявить проблемные зоны и прогнозировать их развитие.

Заключение

Выбор объекта исследования – парка «Екатерингоф» – позволит наглядно продемонстрировать потенциал геоинформационного моде-

лирования для сохранения и восстановления объектов культурного наследия. Созданная модель парка может служить основой для дальнейших исследований. Следующим этапом исследования будет создание модели парка «Екатерингоф» по разработанной авторами методике геоинформационного моделирования.

Таким образом, статья подчеркивает важность комплексного подхода к изучению и сохранению объектов культурного наследия, включая использование современных геоинформационных технологий. Продолжение исследований в данной области позволит не только сохранить уникальное наследие Санкт-Петербурга, но и разработать эффективные стратегии для устойчивого развития городской среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Общественный мониторинг объектов культурного наследия Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – URL: <https://voopik-spb.ru/projects/obshchestvennyu-monitoring-obektov-kulturnogo-naslediya-sankt-peterburga/> (дата обращения: 18.08.2023).

2. Объекты культурного наследия Санкт-Петербурга. Коммерсант [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6337514> (дата обращения: 18.08.2023).

3. Рядова М. Н. Применение ГИС-технологий для сохранения объектов ландшафтной архитектуры // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – Т. 21, № 6. – С. 70–78. – DOI 10.31675/1607-1859-2019-21-6-70-78. – EDN AYJVSJN.

4. Немтинов В. А., Морозов В. В., Манаенков А. М. Виртуальное моделирование объектов культурно-исторического наследия с использованием ГИС-технологий // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 709–714. – EDN OEYUPH.

5. Cem E., Nizar P. 3D modeling of cultural heritage: Commagene Kingdom funerary monument [Electronic resource]. – URL: <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/igd/article/view/1037/840> (дата обращения: 03.09.2023).

6. Yoshikawa, Kazunari. Restoration of Cityscape in Early Modern Naniwa [Electronic resource] // Paper Sessions CUPUM, 2013. – URL: https://cupum2013.geo.uu.nl/download/usb/contents/pdf/shortpapers/84_Yoshikawa.pdf (дата обращения: 10.09.2023).

7. A. Delinasiou, E. Stylianidis. Building Information Modelling for Cultural Heritage: A review // ISPRS Annals of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2015. – Vol. II-5/W3. – Pp. 177–183. – DOI 10.5194/isprsannals-II-5-W3-177-2015.

8. Berdien De Roo, Jean Bourgeois, Philippe De Maeyer. Conservation of Past Times: Data Models for Ensuring the Future of Our Heritage // Conference: Online proceedings of the conference Built Heritage 2013 monitoring conservation and management. – At: Milano, Italy 2013. – Pp. 982–988.

9. Cristina Portalés, José Luis Lerma, Santiago Navarro. Augmented reality and photogrammetry: A synergy to visualize physical and virtual city environments // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2010. – 65(1). – Pp. 134–142. – DOI 10.1016/j.isprsjprs.2009.10.001.

10. Marques L., Tenedório J. A., Burns M., Romão T., Birra F., Marques J., Pires A. Cultural Heritage 3D Modelling and Visualisation within an Augmented Reality Environment, based on

Geographic Information Technologies and Mobile Platforms // ACE Architectura Ciudad y Entorno. – 2017. Vol. 1(33). – Pp. 117–136. – DOI 10.5821/ace.11.33.4686.

11. Kikuchi N., Fukuda T., Yabuki N. Future Landscape Visualization using a City Digital Twin: Integration of Augmented Reality and Drones with Implementation of 3D Model-Based Occlusion Handling // Journal of Computational Design and Engineering. – 2022. – Vol. 9(2). – pp. 837–856. – DOI 10.1093/jcde/qwac032.

12. Piekarski W., Thomas B. H. Interactive Augmented Reality Techniques for Construction at a Distance of 3D Geometry // EGVE '03: Proceedings of the workshop on Virtual environments. – 2003. – DOI 10.1145/769953.769956.

13. Zhang Y., Yue P., Zhang G., Guan T., Lv M., Zhong D. Augmented Reality Mapping of Rock Mass Discontinuities and Rockfall Susceptibility Based on Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. MDPI // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11(11):1311. – DOI 10.3390/rs11111311.

14. McPherson E. G., Peper P. J. Urban Tree Growth Modeling // Arboriculture & Urban Forestry. – 2012. – Vol. 38 (5). – P. 172–180. – DOI 10.48044/jauf.2012.026.

15. Mannion D. J., Wells J., Shrestha K. M., Balogh A., Runting R. Themeda: Predicting land cover change using deep learning. – 2025. – 38 p. – DOI 10.2139/ssrn.4681094.

16. Грузинов В. С. Системные основы геоинформационного моделирования территорий // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 1, ч. 2. – С. 121–123. – EDN PGCYIT.

17. Андреева О. А. Разработка методики геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта : дисс. ... канд. техн. наук / Андреева Ольга Александровна. – М., 2021. – 218 с.

18. Темербаева А. А., Ганцен Н. Ф. ПРОБЛЕМЫ ГИС СТРАНЫ [Электронный ресурс]. – URL: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015014001> (дата обращения: 10.07.2024).

19. Шаннаа А. А., Кулик Е. Н. Современные средства пространственного моделирования территории в ГИС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 6 : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 2. – С. 208–2014.

20. Орлов П. Ю. Разработка и исследование методики геоинформационного моделирования трехмерных динамических сцен околосреднего космического пространства : дисс. ... канд. техн. наук / Орлов Павел Юрьевич. – М., 2019. – 190 с.

21. Костерева А. А. Подходы к воссозданию утраченных элементов при сохранении объектов культурного наследия ландшафтной архитектуры на примере парка Екатерингоф. – СПб., 2023. – 107 с.

22. Костерева А. А., Казакова А. Е., Маркин А. А., Куприянова А. Г. Выявление утраченной планировочной и объемно-пространственной структуры на объектах культурного наследия ландшафтной архитектуры с помощью определения возраста деревьев // XIV чтения памяти Т. Б. Дубяго : сборник трудов международной конференции, Санкт-Петербург, 01–03 ноября 2022 года. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, 2023. – С. 31–45. – EDN BVGJFF.

23. Костерева А. А., Маркин А. А., Куприянова А. Г. Развитие исторических парков Санкт-Петербурга в советский период на примере парка Екатерингоф // Сборник научных трудов Совета молодых ученых СПбГЛТУ. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, 2023. – С. 59–67. – EDN DTILSN.

24. Костерева А. А., Маркин А. А., Куприянова А. Г. Дополненная реальность (ar) как метод воссоздания утраченных элементов парка Екатерингоф // Сборник научных трудов совета молодых ученых СПбГЛТУ : Сборник статей. Вып. 2. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, 2022. – С. 36–45. – EDN EUTVUQ.

Об авторах

Анастасия Андреевна Костерева – ассистент кафедры информационных систем и технологий, ассистент кафедры ландшафтной архитектуры.

Марсель Равильевич Вагизов – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой информационных систем и технологий.

Получено 01.10.2025

© А. А. Костерева, Р. В. Вагизов, 2025

Addressing geo-information challenges in the modeling of Saint Petersburg's landscape architectural heritage (part 1)

A. A. Kostereva¹, M. R. Vagizov^{1✉}

St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S. M. Kirov, 194021, St. Petersburg, Russian Federation

e-mail: bars-tatarin@yandex.ru

Abstract. Challenges associated with geoinformation modeling of cultural heritage sites within the landscape architecture of Saint Petersburg are explored in the paper. The authors review current practices in constructing digital models of historic parks and highlight critical difficulties encountered during this endeavor. Special attention is given to the development of specialized methodologies for modeling park landscapes, which integrate both archival documentation and contemporary survey data. The study highlights the importance of synthesizing diverse and heterogeneous data sources to achieve accurate digital reconstructions. These methodological innovations have significant practical implications for the preservation of cultural heritage and the sustainable management of urban green spaces. As such, the findings offer valuable insights for professionals involved in monument conservation and urban planning.

Keywords: geoinformation modeling, cultural heritage sites, landscape architecture, St. Petersburg, heritage preservation, restoration, geoinformation technologies, digital models, parks, gardens, palace and park ensembles.

REFERENCE

1. Obshchestvennyj monitoring ob'ektov kul'turnogo nasledija Sankt-Peterburga. Retrieved from <https://voopik-spb.ru/projects/obshchestvennyy-monitoring-obektov-kulturnogo-naslediya-sankt-peterburga/> (data obrashhenija: 18.08.2023) [in Russian].
2. Ob'ekty kul'turnogo nasledija Sankt-Peterburga. *Kommersant*. Retrieved from <https://www.kommersant.ru/doc/6337514> (data obrashhenija: 18.08.2023) [in Russian].
3. Rjadova Marija Nikolaevna Primenenie GIS-tehnologij dlja sohraneniya ob'ektov landshaftnoj arhitektury (2019). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]* Vol. 21, No. 6. 70–78 DOI 10.31675/1607-1859-2019-21-6-70-78. EDN AYJVSJ [in Russian].
4. Nemtinov Vladimir Alekseevich, Morozov Vjacheslav Vladimirovich, Manaenkov Anton Mihajlovich Virtual'noe modelirovanie ob'ektov kul'turno-istoricheskogo nasledija s ispol'zovaniem GIS-tehnologij (2011). *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Tambov State Technical University]* Vol. 17, No. 3. 709–714. EDN OEYUPH [in Russian].
5. Cem E, Nizar P. 3D modeling of cultural heritage: Commagene Kingdom funerary monument Retrieved from <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/igd/article/view/1037/840> (accessed date: 03.09.2023).

6. Yoshikawa, Kazunari. (2013). Restoration of Cityscape in Early Modern Naniwa *Paper Sessions CUPUM*, Retrieved from https://cupum2013.geo.uu.nl/download/usb/contents/pdf/short-papers/84_Yoshikawa.pdf (accessed date: 10.09.2023).
7. A. Delinasiou, E. Stylianidis. (2019). Building Information Modelling for Cultural Heritage: A review // *ISPRS Annals of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. II-5/W3. Pp. 177–183. DOI 10.5194/isprsannals-II-5-W3-177-2015.
8. Berdien De Roo, Jean Bourgeois, Philippe De Maeyer. (2013). Conservation of Past Times: Data Models for Ensuring the Future of Our Heritage *Conference: Online proceedings of the conference Built Heritage 2013 monitoring conservation and management*. At: Milano, Italy 2013. Pp. 982–988.
9. Cristina Portalés, José Luis Lerma, Santiago Navarro.(2010). Augmented reality and photogrammetry: A synergy to visualize physical and virtual city environments. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 65(1). Pp 134–142. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2009.10.001.
10. Marques L., Tenedório J. A., Burns M., Romão T., Birra F., Marques J., Pires A. (2017). Cultural Heritage 3D Modelling and Visualisation within an Augmented Reality Environment, based on Geographic Information Technologies and Mobile Platforms. *ACE Arquitectura Ciudad y Entorno*. Vol. 1(33). Pp. 117–136. DOI:10.5821/ace.11.33.4686.
11. Kikuchi N., Fukuda T., Yabuki N. (2022). Future Landscape Visualization using a City Digital Twin: Integration of Augmented Reality and Drones with Implementation of 3D Model-Based Occlusion Handling. *Journal of Computational Design and Engineering*. Vol. 9(2). Pp. 837–856. DOI 10.1093/jcde/qwac032.
12. Piekarski W., Thomas B. H. (2003). Interactive Augmented Reality Techniques for Construction at a Distance of 3D Geometry. *EGVE '03: Proceedings of the workshop on Virtual environments*. DOI 10.1145/769953.769956.
13. Zhang Y., Yue P., Zhang G., Guan T., Lv M., Zhong D. (2019). Augmented Reality Mapping of Rock Mass Discontinuities and Rockfall Susceptibility Based on Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. *MDPI Remote Sensing*. Vol. 11(11):1311. DOI 10.3390/rs11111311.
14. McPherson E. G., Peper P. J. (2012). Urban Tree Growth Modeling. *Arboriculture & Urban Forestry*. Vol. 38 (5). P. 172–180. DOI 10.48044/jauf.2012.026.
15. Mannion D. J., Wells J., Shrestha K. M., Balogh A., Runting R. (2025). Themedra: Predicting land cover change using deep learning. 38 p. DOI 10.2139/ssrn.4681094.
16. Gruzinov V. S. (2018). Sistemnye osnovy geoinformacionnogo modelirovaniya territorij *Interexpo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* Vol. 1, No. 2. 121–123. EDN PGCYIT [in Russian].
17. Andreeva O. A. (2021). Razrabotka metodiki geoinformacionnogo modelirovaniya ob'ektov infrastruktury zhelezodorozhnogo transporta Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Moscow. 218 p. [in Russian].
18. Temerbaeva A. A., Gancen N. F. (2024). PROBLEMY GIS STRANY *Studencheskij nauchnyj forum* Retrieved from <https://scienceforum.ru/2015/article/2015014001> (data obrashhenija: 10.07.2024) [in Russian].
19. Shanna A. A., Kulik E. N. (2019). Sovremennye sredstva prostranstvennogo modelirovaniya territorii v GIS *Interexpo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* No. 2. 208–214 [in Russian].
20. Orlov P. Ju. (2019). Razrabotka i issledovanie metodiki geoinformacionnogo modelirovaniya trjohmernih dinamicheskikh scen okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Moscow. 190 p. [in Russian].
21. Kostereva A. A. Podhody k vossozdaniju utrachennoy jelementov pri sohranenii ob'ektov kul'turnogo nasledija landshaftnoj arhitektury na primere parka Ekatingof: *Sankt-Peterburg, 2023*. 107 p. [in Russian].
22. Kostereva A. A., Kazakova A. E., Markin A. A., Kuprijanova A. G. (2023). Vyjavlenie utrachennoj planirovochnoj i ob'emno-prostranstvennoj struktury na ob'ektah kul'turnogo nasledija landshaftnoj arhitektury s pomoshh'ju opredelenija vozrasta derev'ev. *XIV chteniya pamyati T.B.*

Dubyago : *Sbornik trudov mezhdunarodnoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 01–03 noyabrya 2022 goda. [XIV reading in memory of T.B. Dubyago: Collection of proceedings of the international conference, St. Petersburg, November 01–03, 2022.]* St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirova, 2023. Pp. 31–45. EDN BVGJFF [in Russian].

23. Kostereva A. A., Markin A. A., Kuprijanova A. G. (2023). *Razvitie istoricheskikh parkov Sankt-Peterburga v sovetskij period, na primere parka Ekateringof. Sbornik nauchnykh trudov Soveta molodykh uchonykh SPBGLTU [Collection of scientific works of the Council of Young Scientists of St. Petersburg State Forestry University]*. St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirova, Pp. 59–67. EDN DTILSN [in Russian].

24. Kostereva A. A., Markin A. A., Kuprijanova A. G. *dopolnennaja real"nost" (ar) kak metod vossozdaniya utrachennykh jelementov parka Ekateringof Sbornik nauchnykh trudov soveta molodykh uchonykh SPbGLTU : Sbornik statey. [Collection of scientific works of the Council of Young Scientists of St. Petersburg State Forestry University: Collection of articles]*. Volume Issue 2. St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirova, pp. 36–45. EDN EUTVUQ [in Russian].

Author details

Anastasia A. Kostereva – Assistant of the Department of Landscape Architecture.

Marcel R. Vagizov – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Information Systems and Technologies.

Received 01.10.2025

© A. A. Kostereva, M. R. Vagizov, 2025

УДК 528.9:001.8

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-75-87

Систематизация результатов и подходов к пониманию картографического обеспечения научно-производственной деятельности

Д. С. Логинов^{1,2}✉

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
г. Москва, Российская Федерация

² ООО «Целевой Горизонт», г. Москва, Российская Федерация

e-mail: loginov@geohorizon.ru

Аннотация. В статье освещена проблема корректности отнесения широкого спектра цифровых картографических и геоинформационных продуктов к результатам картографического обеспечения научно-производственной деятельности. Для систематизации текущего состава результатов в рамках традиционного понимания картографического обеспечения как результата картографических работ предложено использование симбиотического подхода к взаимодействию картографического, геоинформационного и информационного обеспечения. Разработанные графические модели позволяют зафиксировать текущую практику отнесения к картографическому обеспечению широкого спектра не только картографических, но и геоинформационных продуктов, моделей, а также проиллюстрировать хаотичность использования термина «картографическое обеспечение» для обозначения принадлежности результатов изысканий к указанному виду картографической деятельности. В целях преодоления ограниченности традиционного понимания картографического обеспечения в статье рассматриваются иные подходы к пониманию обеспечения. Установлен потенциал представления картографического обеспечения как системного процесса снабжения потребителей конечной продукцией, который позволяет выявить и охарактеризовать познавательный, коммуникационный, технический и другие аспекты работы с пространственными данными с помощью современных цифровых картографических и геоинформационных продуктов. Полученные результаты – необходимое и достаточное условие для повышения эффективности картографического обеспечения и последующего формирования его теоретико-методологических основ как прикладного направления использования методов картографии в эпоху цифровой трансформации научно-производственной деятельности.

Ключевые слова: картографические работы, картографическое обеспечение, моделирование картографических процессов, научно-производственная деятельность, системный подход, цифровые картографические продукты

Для цитирования:

Логинов Д. С. Систематизация результатов и подходов к пониманию картографического обеспечения научно-производственной деятельности // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 75–87. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-75-87

Введение

Непрерывное совершенствование – характерный процесс для современной картографии. За последние годы предприняты многочисленные попытки уточнения терминов «картография», «карта» [1, 2], функций карты

[3], происходит анализ [4] и появление новых современных направлений развития картографии [5], роли карт [6]. Эти тенденции иллюстрируют обеспокоенность мирового и отечественного картографического сообщества соответствием картографии научно-техническому прогрессу, реальному состоянию

указанных вопросов, особенно на фоне растущего интереса к методам и технологиям искусственного интеллекта [7].

Вместе с тем, на взгляд автора, недостаточное внимание уделяется актуализации важного направления прикладного использования методов картографии – картографического обеспечения научно-производственной деятельности. Выполненный ранее библиографический анализ публикаций (за 1991–2024 гг.), в которых термин «обеспечение» использовался отечественными и зарубежными исследователями для обозначения приуроченности результатов изысканий к указанному виду картографической деятельности, показал востребованность вопросов подготовки и использования картографических продуктов для решения прикладных задач различных сфер научно-производственной деятельности. Однако выявленные терминологические проблемы (в том числе генерация смешанных видов обеспечений, например «картографо-геоинформационное», «геоинформационно-картографическое» и т. п.) показали необходимость систематизации подходов к пониманию не только состава результатов картографического обеспечения, но и пониманию его сути в целях сохранения востребованности методов картографии при решении прикладных задач научно-производственной деятельности.

Цель настоящей статьи – систематизировать современный состав результатов картографического обеспечения с позиций симбиотического подхода к взаимодействию с другими видами обеспечений пространственными данными и акцентировать внимание на иные подходы к пониманию картографического обеспечения, способные актуализировать данное направление картографии в условиях цифровой трансформации научно-производственной деятельности.

О новых видах результатов картографического обеспечения

Современное отечественное картографическое обеспечение научно-производственной деятельности продолжает славные традиции советского периода развития картогра-

фии. Подход к пониманию картографического обеспечения, заложенный К. А. Салищевым в 1980 г. на примере снабжения работ по рациональному природопользованию государственными топографическими и отраслевыми тематическими картами, а также комплексными региональными атласами, остается доминирующим. Однако расширение номенклатуры картографических продуктов, создаваемых в рамках современного картографического обеспечения с использованием ГИС, способствует обострению философской проблемы конфликта формы и содержания, поскольку сегодня результаты картографического обеспечения имеют не только собственно картографическую форму, но также представляют собой мультимедийные, геоинформационные продукты и модели. Однозначное отнесение таких результатов к тому или иному обеспечению осложняется отсутствием конкретизации состава создаваемой цифровой картографической продукции в действующем определении «(цифровое) картографическое обеспечение» согласно ГОСТ Р 70955–2023 (Цифровая картография. Термины и определения. – 2023. – М. : Институт стандартизации.– 16 с.). Как следствие, терминологическая проблема появления смешанных (производных) видов обеспечения, в наименовании которых картографическое обеспечение уступает геоинформационному, информационному и др. (например, «геоинформационно-картографическое», «информационно-картографическое» и т. д.), нивелирует главную цель всей совокупности картографических продуктов: способствовать познанию пространственных и содержательных аспектов объектов исследования научно-производственной деятельности и их использованию для рационального взаимодействия с окружающей действительностью.

Использование симбиотического подхода к систематизации состава результатов картографического обеспечения

В целях систематизации состава результатов исследований в области картографического обеспечения различных сфер научно-производственной деятельности предлага-

ется использование ранее предложенного автором симбиотического подхода к рассмотрению взаимодействия картографического, геоинформационного и информационного обеспечения как самостоятельно развивающихся видов обеспечения, чье взаимное обогащение осуществляется на уровне их результатов. Симбиотический подход позволяет обосновать принадлежность к картографическому обеспечению всей совокупности результатов исследований отечественных картографов на основе статистического анализа степени доминирования терминов в научных изданиях. Всего было проанализировано содержание более 410 публикаций уровня монографий, авторефератов диссертаций, научных журналов, в том числе входящих в перечень рецензируемых изданий ВАК («Геодезия и картография», «Вестник СГУГиТ», «Известия вузов: геодезия и аэрофотосъемка» и др.), материалов и тезисов докладов конференций (включая «Интерэкспо ГЕО-Сибирь», «Интеркарто. ИнтерГИС» и др.) за 1991–2024 гг. Объективным критерием выступил процент использования терминов «картографический» (КО), «геоинформационный» (ГО), «информационный» (ИО), рассчитанный для каждого результата обеспечения следующим образом.

1. Выявление частоты встречаемости уникальных наименований обеспечения, к которым приурочен конкретный вид конечного результата.

2. Присвоение баллов для каждого вида обеспечения по следующей схеме: единоличное наименование обеспечения (например, «картографическое») – 1 балл; дуальное («геоинформационное и картографическое») – 0,5 балла для каждого вида обеспечения; смешанное («геоинформационно-картографическое») – 0,75 и 0,25 балла соответственно порядку очередности в термине.

3. Суммирование баллов и вычисление процентного соотношения видов обеспечений по каждому конечному результату.

4. Вычисление диапазона вариативности отнесения к разным видам обеспечения (разность максимального и минимального нулевого процента).

5. Классификация видов конечных результатов обеспечения по устойчивости использования термина (устойчивость – более 76 %; умеренная вариативность – от 51 до 75 %; сильная вариативность – менее 50 %).

Полученные результаты (табл. 1) подтверждают доминирование отнесения к результатам картографического обеспечения научно-производственной деятельности следующих продуктов: традиционных картографических продуктов (картографической основы, карты, системы карт, серии карт, атласов), цифровых и электронных картографических продуктов, веб-картографических продуктов (в том числе интерактивных карт, веб-сервисов и геопорталов). Однако следует отметить, что степень достоверности оценки вариативности зависит от числа публикаций, в которых встречен тот или иной результат, а также от субъективных предпочтений авторов публикаций к использованию того или иного термина обеспечения. В этой связи безоговорочное на данный момент (табл. 1) отнесение веб-интерфейса к картографическому обеспечению нуждается в подтверждении временем.

Умеренная вариативность зафиксирована для атласов, пространственных данных, цифровых карт, топографических карт, картографических материалов и моделей, космических снимков, мультимедийных информационных ресурсов, картографических баз данных и баз пространственных данных, цифровой картографической продукции. Для этих результатов доля второго по частоте обеспечения превышает минимум 10 %, что указывает на возможность их отнесения к другим видам обеспечения.

Наименьший процент доминирования картографического обеспечения представлен для ГИС-проекта, информационно-аналитических систем, специальных модулей, подсистем ГИС, электронных и ГИС-атласов, тематических слоев. Данные результаты имеют наибольшее разнообразие использования терминов других обеспечений, однако симбиотический подход позволяет включать их в состав картографического обеспечения.

Таблица 1

Вариативность отнесения авторами отечественных публикаций (1991–2024 гг.) картографических и геоинформационных продуктов к видам обеспечения

Вид результата	Число публикаций	Баллы частоты встречаемости термина				Устойчивость, %
		КО	ГО	ИО	Другие	
Веб-интерфейс	3	3	-	-	-	100
Картографическая основа	14	14,5	0,5	-	-	93
Карты	64	60	2	1,5	2,5	89
Система карт	8	7,5	-	0,5	-	88
Веб-сервис, геопортал	11	10,25	-	-	0,75	86
Учебный курс / пособие	15	15,5	0,5	2	-	83
Серия карт	30	27,25	1,25	1,75	1,75	81
Электронные карты	16	15	2,5	0,5	-	81
Тематическая карта	34	29	2,25	2,5	1,25	79
Интерактивная карта	4	3,5	-	0,5	-	75
Картографический материал	29	24,5	4,75	1,75	-	73
Атласы	13	11	1,5	0,75	0,75	73
Пространственные данные	21	14,75	1	2,25	2,25	68
Информационный портал	3	2,5	-	0,5	-	67
Топографические карты	16	14	-	-	3	65
Цифровые карты	10	8,25	-	-	1,75	65
Карта как источник	5	3,75	-	0,5	0,75	65
Картографическая модель	13	12	0,5	1,75	3,75	64
Мультимедийный информационный ресурс	4	3,25	0,75	-	-	63
КБД	15	11,5	2,5	2,5	1,5	56
Цифровая картографическая продукция	4	2,75	0,75	-	0,5	56
ИПД	10	6,75	-	2	1,25	55
Единая картографическая основа	7	4,75	-	1,25	1	54
Базы данных	32	20,75	4,5	4,25	3,5	52
ГИС-проект	17	9	5,75	1	1,25	47
Информационно-аналитическая система	4	3	-	0,75	1,25	45
Математическая основа (СК / проекции)	5	5	-	-	2	43
Схемы и генеральный план	5	3,75	-	0,75	2,5	43
Специальные модули ГИС	3	1,75	0,5	-	0,75	42
ГИС-атлас	3	2,25	0,75	1	-	38
Картографическая информация	5	2	0,25	0,75	2	35
Электронный атлас	5	3,75	-	1,75	1,5	32
Специализированная ГИС	3	2	1,25	0,75	-	31
Подсистема ГИС	3	1,25	1	0,75	-	17
Тематические слои	3	0,75	1	0,75	0,5	17

Графическое отображение полученных статистических результатов, а также идеального распределения цифровых картографических продуктов между рассматриваемыми видами обеспечения достигается с помощью

треугольных диаграмм – моделей вида «симбиотический треугольник» (рис. 1, а, б). Вершины диаграмм соответствуют каждому из трех видов обеспечений, а стороны представляют собой степень взаимодействия внутри

каждой пары обеспечений и отражают возможные варианты результатов смешанных (производных) видов обеспечений. Так, по стороне «КО – ГО» помимо собственно картографического и геоинформационного обеспечения допускается наличие следующих смешанных видов: картографо-геоинформационное (КО/ГО), геоинформационно-картографическое (ГО/КО). Пересечения между пограничными состояниями образуют внутренние элементы – выявленные ранее и возможные формы результатов обеспечений.

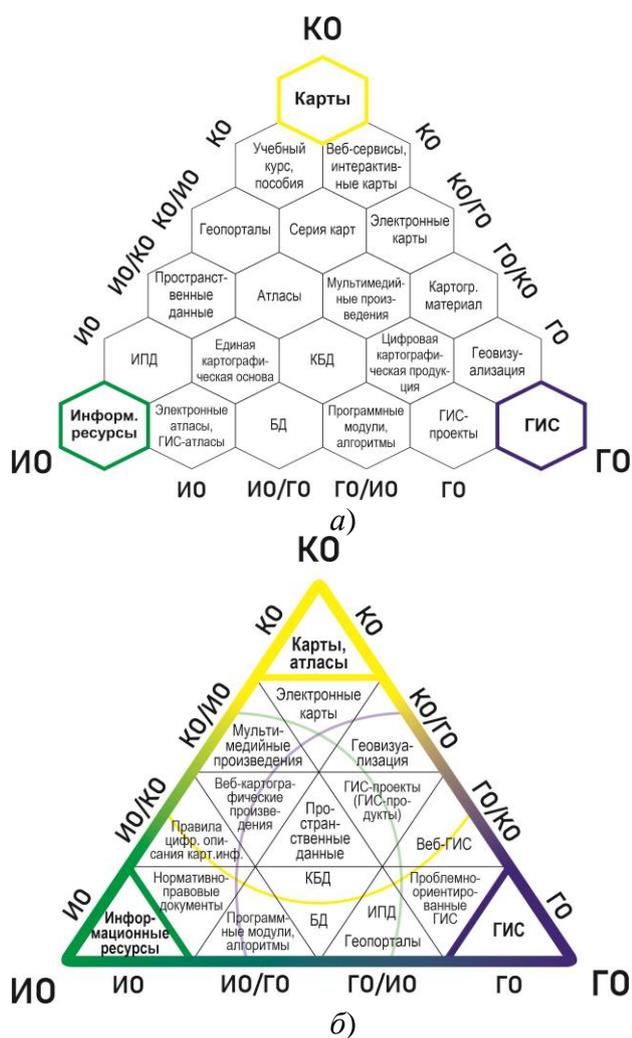


Рис. 1. Модели «симбиотический треугольник»: а) текущее распределение (гексагональное представление) результатов обеспечений; б) идеальное распределение (треугольное представление) результатов обеспечения

В гексагональной модели симбиотического треугольника (см. рис. 1, а) внутренние

элементы размещены с учетом результатов статистического анализа наименований обеспечений в изданных публикациях (см. табл. 1). Модель позволяет отразить не только объективное состояние взаимодействия картографического, геоинформационного и информационного обеспечения, но также охарактеризовать современный состав их результатов, т. е. описать форму картографического обеспечения – то, что видит и с чем взаимодействует пользователь при выполнении прикладных задач научно-производственной деятельности. Также модель учитывает многоаспектность современных картографических продуктов: в зависимости от контекста каждый из них может интерпретироваться как результат картографического, геоинформационного и информационного обеспечения.

Вместе с тем симбиотическая модель текущего распределения результатов обеспечений (см. рис. 1, а) позволяет наглядно проиллюстрировать серьезную проблему хаотичного использования термина «картографическое обеспечение» для обозначения принадлежности результатов изысканий к тому или иному виду картографической деятельности. Отсутствие системности заключается в одновременном существовании различных видов изданий (в том числе присутствии учебных пособий в составе картографического обеспечения) и их смежном размещении в гексагональной модели согласно табл. 1. По мнению автора, идеальный вариант распределения результатов обеспечений должен учитывать их форму и содержание. Попытка представить такой вариант в треугольной модели дана на рис. 1, б, где цветные дуги иллюстрируют степень удаленности результатов от «чистой» формы обеспечения, под которой для картографического обеспечения понимаются традиционные картографические произведения (карты, серия карт, атласы), для геоинформационного – географические информационные системы и геоинформационные модели, для информационного – информационные ресурсы. Так, согласно идеальной модели (см. рис. 1, б) программные модули как один из основных результатов геоинформационного обеспечения могут быть созданы в рамках информационно-геоинформационного и/или геоинформационно-информационного обеспечения, но также частично входят в сферу интересов собственно картографического обеспечения. Электронные карты тяготеют к картогра-

фическому обеспечению, однако также могут служить результатом картографо-информационного или картографо-геоинформационного обеспечения. Соответствующие указанным примерам треугольники располагаются в непосредственной близости от линии «картографическое – геоинформационное обеспечение», что демонстрирует текущую практику их создания в рамках указанных видов обеспечений. При этом равноудаленным от трех видов обеспечений результатом выступают пространственные данные как самостоятельный информационный ресурс – основа картографического и геоинформационного моделирования геосистем и «информационного обеспечения территории» [8] и ряда других сфер научно-производственной деятельности.

Тем не менее сильная зависимость вариативности терминологии, используемой исследователями при отнесении результатов к видам обеспечений, дает основание предполагать, что систематизация результатов картографического обеспечения – необходимое, но недостаточное условие эффективности картографического обеспечения как практико-ориентированного направления использования методов картографии в процессе познания объектов исследования научно-производственной деятельности и коммуникации с ними. Графически продемонстрированный расширяющийся состав результатов (см. рис. 1) характеризует необходимость принципиально иных подходов к пониманию картографического обеспечения. Представляется анахро-

ничным продолжать рассматривать картографическое обеспечение исключительно как набор традиционных аналоговых и электронных карт (т. е. результат применения картографического метода исследования в его традиционном понимании). В противном случае допускается логическая ошибка, как если картографическое производство рассматривать только с позиций издания карт, не охватывая весь комплекс методов и процессов (геодезическое обоснование, топографическая съемка, составление, редактирование, издание карты), конечным результатом которых является карта или цифровые картографические продукты. Требуется дальнейшая систематизация не только состава результатов как формы картографического обеспечения, но и взглядов на его содержание (суть).

Подходы к пониманию сути картографического обеспечения

Несмотря на то, что в картографическом сообществе наблюдается устойчивая синонимизация обеспечения с результатом традиционных картографических работ, редкие исследования ссылаются на актуальные нормативно-методические документы или имеют авторские трактовки термина «картографическое обеспечение» (одно из исключений – работа [9]). Тем не менее библиографический анализ публикаций позволил выделить следующие основные подходы к пониманию картографического обеспечения (табл. 2).

Таблица 2

Подходы к пониманию картографического обеспечения научно-производственной деятельности

Подход	Суть	Некоторые примеры
Обеспечение как результат	Собственно результат. Выполнить картографическое обеспечение – значит снабдить картами. Создание и применение результата картографических методов в прикладных целях	Большинство исследований
Обеспечение как картографические работы	Не только результат, но и картографические работы, направленные на создание, хранение и выдачу результата конечному пользователю	ГОСТ 28441–99. Картография цифровая. Термины и определения
Обеспечение как процесс, деятельность	Соответствует определению термина «обеспечение», представленному в словарях русского языка. Комплекс мероприятий. Проблемное картографирование (Е. С. Старостин 1990)	И. В. Чернов, В. И. Якунин (2023) [10]. ГОСТ Р 70955–2023. Цифровая картография. Термины и определения
Обеспечение как система	Системный процесс, система карт	Н. А. Алексеенко (2019) [11], А. М. Карпачевский (2018) [12], М. В. Кусильман, Запруднова З.А. (2014) [13], Е. П. Тюкленкова и др. (2014) [14], другие

Понимание картографического обеспечения исключительно с позиций результатов – в настоящее время широко распространенная практика. В большей доле исследований понятие приравнивается к терминам «карта», «система карт», «картографический материал» и т. п. В этой связи выделяются два дополнительных направления, рассматривающих обеспечение как функцию карты (в составе конструктивной функции – в работах К. А. Салищева (1982, 1983), функция «поддержка решений» – в работе У. Фрайтага (1993)) и как синоним прикладного аспекта картографического метода исследования [15].

Переход традиционной картографии в цифровую среду с соответствующим использованием новых технологий для создания, хранения и предоставления доступа к цифровым картографическим продуктам нашел отражение в российской картографии в 1990-е гг. Позитивным моментом стало регламентирование понятия «(цифровое) картографическое обеспечение», которое согласно ГОСТ 28441–99 представляет собой «комплекс мероприятий, направленных на создание, хранение цифровой картографической продукции и выдачу ее потребителям» (ГОСТ 28441–99. Картография цифровая. Термины и определения. – 1999. – М. : Стандартиформ. – 13 с.). Такая трактовка предполагает, что под обеспечением понимается не только результат (обезличенный термином «картографическая продукция»), но во многом процесс создания этого результата, т. е. картографические работы, направленные на создание, хранение и выдачу результата конечному пользователю.

Следующая актуализация термина выполнена в 2023 г. в ГОСТ Р 70955–2023. В обновленном определении отсутствует акцент на картографические работы, но появилось обозначение цели обеспечения – «содействие решению широкого спектра задач потребителей (цифровой) картографической продукцией» (ГОСТ Р 70955–2023. Цифровая картография. Термины и определения. – 2023. – М. : Институт стандартизации. – 16 с.). Такая трактовка отвечает представлениям об обеспечении как о процессе, поэтому данный подход исправляет несоответствие прежнего определения термину «обеспечение», представленному

в словарях русского языка как деятельность, процесс. Примеры реализации подхода – работа [10], где картографическое обеспечение выступает как единый «целенаправленный» процесс, «включающий два основных этапа – создание и издание картографической продукции».

Весомый вклад в развитие системного понимания картографического обеспечения внесли работы Н. А. Алексеенко. В частности, на примере картографического обеспечения деятельности ООПТ в работе [11] показано, что «комплексное системное картографическое обеспечение (деятельности ООПТ) имеет две основные стороны – системный подход к явлениям, которые картографируются, и системную организацию процесса картографирования». В работе [13] система картографического обеспечения «производственного экологического мониторинга» при строительстве объектов газодобывающей промышленности рассматривается не только с позиций модельно-познавательной концепции, но и затрагивает вопросы картосемиотики, а именно разработки системы условных обозначений. В этой связи системный подход к пониманию картографического обеспечения обладает потенциалом учета целого ряда теоретических концепций картографии и его выделения в особый картографический процесс, отличный от картографического моделирования и картографирования.

Обсуждение

Разработанные в текущем исследовании симбиотические модели позволяют зафиксировать сложившиеся условия, когда индикатором принадлежности к картографическому обеспечению выступает не только собственно картографическая форма результатов работы с пространственными данными, но и содержание современных цифровых картографических и геоинформационных продуктов, направленное на реализацию познавательного, коммуникационного, технического и других аспектов картографического обеспечения научно-производственной деятельности.

Так, создание картографических продуктов в рамках картографического обеспечения

осуществляется во многом не для того, чтобы зафиксировать состояние окружающей действительности на определенный момент времени (как это делается при картографировании), а для того, чтобы решить определенную задачу, направленную на рациональное познание и взаимодействие с пространством и содержательной частью комплекса явлений окружающей действительности (познавательный аспект).

Коммуникационный аспект картографического обеспечения определяет роль картографических продуктов в реализации опосредованной коммуникации между субъектами процесса обеспечения «человек-картограф» и «человек – отраслевой специалист». Учет коммуникационных возможностей картографических продуктов способствует рассмотрению в рамках картографического обеспечения таких вопросов, как организация графического пользовательского интерфейса картографических веб-сервисов [16], в том числе вопросов проектирования взаимосвязей и эргономики всех компонентов картографических веб-сервисов и геопорталов, тем самым не ограничиваясь (ставшей стандартной) подготовкой картографической основы геопорталов инфраструктур пространственных данных. Адаптация к таким изменениям со стороны Международной картографической ассоциации произошла еще в 2007 г. посредством переориентирования комиссии по использованию карт (существовавшей в 1984–1999 гг.) в область вопросов картографического дизайна и использования веб-карт и ее переименование в комиссию по пользовательскому опыту (User Experience). Таким образом, включение широкого спектра вопросов веб-картографии в сферу интересов картографического обеспечения способствует превентивному упреждению дальнейшего развития этого направления исключительно в области геоинформационного, информационного и/или другого вида обеспечения.

Помимо коммуникационного аспекта современные цифровые картографические продукты нацелены согласно А. М. Берлянту (1997) на реализацию системного информационно-картографического моделирования геосистем. Как следствие в сфере интересов карто-

графического обеспечения попадают не только результаты геоинформационного картографирования, составления и оформления карт в ГИС, но также инструменты, способствующие их реализации. К ним относятся собственно пространственные данные, подлежащие картографической визуализации; алгоритмы, модули и иные программные решения по автоматизации отдельных процессов создания и использования общегеографических и тематических карт, включая генерализации элементов содержания и т. д. Отнесение таких результатов к картографическому обеспечению противоречит внешней форме (ассоциируются с геоинформационным обеспечением), однако полностью соответствует картографическому содержанию технических вопросов подготовки итоговых результатов (технический аспект).

В связи с вышесказанным представление картографического обеспечения как системы – наиболее прогрессивный подход, позволяющий комплексно подойти к рассмотрению сути обеспечения как системного процесса снабжения потребителей конечной продукцией, в котором результат – совокупность цифровых картографических и геоинформационных продуктов, используемых в научно-производственной деятельности, – является лишь частью процесса, а не его основой. Укоренившееся понимание картографического обеспечения как результата усложняет признание его деятельного аспекта, поскольку акцентирует внимание только на форму, но не на содержание процесса. Одна из причин, по которой исследователи пренебрегают деятельным аспектом картографического обеспечения – продолжение прямого использования традиционного методологического подхода К. А. Салищева без адаптации к современным условиям многообразия результатов картографического обеспечения научно-производственной деятельности. Нет сомнений в базовом влиянии картографического метода исследования на становление картографического обеспечения как моста между методами картографии и потребностями различных сфер научно-производственной деятельности. Однако его применение в качестве инструмента модернизации (даже если его об-

новлять по пути интеграции с геоинформационным и информационным обеспечением) продолжит акцентировать внимание исключительно на внешнюю форму – результат обеспечения. В этом отношении картографическое обеспечение как деятельность обладает потенциалом устранения оторванности между «рядом теоретических и методологических исследований» и «первоочередными запросами производственной сферы тематической картографии», о которой было сказано еще на IX Всесоюзной конференции (1990).

О правомерности деятельного подхода свидетельствуют позитивные изменения в нормативном поле российской картографии. Новое определение «(цифровое) картографическое обеспечение» способствует ликвидации логической ошибки приравнивания понятия «обеспечение» только к результату деятельности, указывая на присутствие комплекса мероприятий, приводящих к реализации цели обеспечения с помощью (цифровой) картографической продукции (при этом оставляя возможность уточнения ее формы). Поэтому, на наш взгляд, учет иных подходов к пониманию сущности картографического обеспечения позволит не только закрепить его статус как «практически ориентированного функционального направления картографии» [11], но и также обновить содержание картографического метода по пути признания его более широким компонентом теоретической картографии.

Учитывая вышесказанное, представляется необходимым в свете формирования теоретико-методологических основ картографического обеспечения (как прикладного направления использования методов картографии в научно-производственной деятельности) сформировать следующее определение. Картографическое обеспечение научно-производственной деятельности – системный социальноориентированный процесс принятия прикладных решений в результате познания аспектов окружающей действительности, связанных с научно-производственной деятельностью, посредством создания и использования картографических продуктов и иных информационных ресурсов, а также собственно результат этого процесса.

Безусловно, при наличии в отечественной картографии нерешенных проблем синони-

мизации терминов «геоданные» и «пространственные данные» [17] существует вероятность дополнить терминологическую неопределенность указанным авторским определением. Однако в контексте рассмотренных в текущем исследовании вопросов определение позволяет учесть накопленный опыт отечественного картографического обеспечения, отразить его ключевые аспекты и заложить основу для предстоящего активного вовлечения методов искусственного интеллекта в повседневную работу картографов.

Заключение

Расширение состава результатов картографического обеспечения – закономерный процесс развития картографии. Использование симбиотического подхода к взаимодействию картографического, геоинформационного и информационного обеспечения позволило описать текущий состав цифровых картографических продуктов и сопутствующих программных решений в виде графических моделей системы результатов картографического обеспечения. Однако вариативность терминологического аспекта дает основания полагать, что систематизация видов результатов – необходимое, но недостаточное условие для формирования теоретико-методических основ картографического обеспечения как самостоятельного направления картографической науки. Выявленные альтернативные подходы к пониманию сущности картографического обеспечения позволяют акцентировать внимание на деятельный аспект и рассмотреть обеспечение как системный процесс, в котором результаты обеспечения выступают как его внешняя форма, осязаемая для большинства конечных потребителей. Последующие работы автора призваны раскрыть содержание системы и описать ее применение на примере геологоразведки как одной из стратегических сфер научно-производственной деятельности. Переход к новому пониманию отвечает тенденциям развития современной картографии, способствует расширению функций обеспечения как полноценного картографического процесса, является необходимым и достаточным условием

для формирования теоретико-методических основ картографического обеспечения прикладного направления использования ме-

тодов картографии в эпоху цифровой трансформации научно-производственной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gomes F., Menezes P., Fernandes M. The concept of cartography, definitions from 1960 to 2000 // *Mercator*. – 2024. – Vol. 23. – No e23015. – 15 p. – DOI 10.4215/rm2024.e23015.
2. Lapaine M., Midtbø T., Gartner G., Bandrova T., Wang T., Shen J. Definition of the Map // *Advances in Cartography and GIScience of the ICA*. – 2021. – Vol. 3. – No 9. – 6 p. – DOI 10.5194/ica-adv-3-9-2021.
3. Янкелевич С. С. Функции карты в условиях постиндустриальной эпохи // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 160–168. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-160-168. – EDN RPSSOJ.
4. Habib M., Okayli M. An overview of modern cartographic trends aligned with the ICA's perspective // *Revue Internationale de Géomatique*. – 2023 – Vol. 32. – No 1. – Pp. 1–16. – DOI 10.32604/rig.2023.043399. – EDN FTVDNF.
5. Kühne O., Edler D. Reconstructing the Map: A Neopragmatist Perspective on Cartography in the Context of Artificial Intelligence (AI). *KN – Journal of Cartography and Geographic Information*. – 2025. – P. 14. – DOI 10.1007/s42489-024-00184-8. – EDN FMIAPL.
6. Fairbairn D., Gartner G., Peterson M. P. Epistemological thoughts on the success of maps and the role of cartography. – *International Journal of Cartography*. – 2021. – 7:3. – Pp. 317–331. – DOI 10.1080/23729333.2021.1972909. – EDN UJXDUR.
7. Логинов Д. С. Первая азиатская картографическая конференция AsiaCarto 2024 // *Геодезия и картография*. – 2024. – № 12. – С. 60–64. – DOI 10.22389/0016-7126-2024-1014-12-60-64. – EDN NFHTBH.
8. Копылова Н. С., Демидова П. М., Колесник О. А., Санникова А. П., Сазонова С. Г. Концептуальные основы отображения пространственных данных в минерально-сырьевом секторе // *Геодезия и картография*. – 2024. – № 8. – С. 2–13. – DOI 10.22389/0016-7126-2024-1010-8-2-13. – EDN POWOFK.
9. Карманова М. В. Разработка научно-методических основ картографического обеспечения региональных органов управления в чрезвычайных ситуациях : дис. ... канд. техн. наук / Карманова Мария Владимировна. – Новосибирск, 2022. – 151 с. – EDN DCNPII.
10. Чернов И. В., Якунин В. И. Модель процесса создания картографической продукции для решения задачи синтеза системы картографического производства // *Геодезия и картография*. – 2023. – № 2. – С. 21–28. DOI 10.22389/0016-7126-2023-992-2-21-28. – EDN GQTRIR.
11. Алексеенко Н. А. Актуальные вопросы картографического обеспечения особо охраняемых природных территорий России // *Геодезия и картография*. – 2019. – № 1. – С. 13–23. – DOI 10.22389/0016-7126-2019-943-1-13-23. – EDN CCOZQS.
12. Карпачевский А. М. Картографическое обеспечение планирования развития региональных электрических сетей : дис. ... канд. геогр. наук / Карпачевский Андрей Михайлович. – Москва, 2018. – 186 с. – EDN LSRBPD.
13. Кусильман М. В., Запруднова З. А. Разработка условных обозначений для картографирования результатов экологического мониторинга и контроля при строительстве объектов газодобывающей промышленности // *Геодезия и картография*. – 2014. – № 6. – С. 20–26. – DOI 10.22389/0016-7126-2014-888-6-20-26. – EDN SJTKYJ.
14. Тюкленкова Е. П., Пресняков В. В., Сеницина Г. Ю. Современные проблемы картографического обеспечения территории Российской Федерации с учетом геополитических интересов страны // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 3. – С. 783. – EDN SYZVOH.

15. Батуев А. Р., Богданов В. Н., Дугарова Г. Б. Картографическое обеспечение развития придорожного сервиса // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле. – 2014. – Т. 10. – С. 22–31. – EDN SYLCVX.

16. Логинов Д. С. Научно-методические основы подготовки пользовательского интерфейса картографического веб-сервиса на примере данных геологоразведочных работ // Геодезия и картография. – 2023. – № 8. – С. 13–28. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-998-8-13-28. – EDN COZBDA.

17. Кошкарев А. В. Терминология геоинформатики и картографии в цифровую эпоху // Геодезия и картография. – 2023. – № 2. – С. 54–63. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-992-2-54-63. – EDN IPEEOG.

Об авторах

Дмитрий Сергеевич Логинов – кандидат технических наук, доцент кафедры визуализации геоданных и картографического дизайна, картографический факультет, МИИГАиК; ведущий ГИС-специалист ООО «Целевой Горизонт».

Получено 29.01.2025

© Д. С. Логинов, 2025

Cartographic support for scientific and production activities: a systematic review of methods and results

D. S. Loginov^{1,2}

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

² LLC «Tselevoi Gorizont», Moscow, Russian Federation

e-mail: loginov@geohorizon.ru

Abstract. The article addresses the challenge of accurate classifying the diverse range of digital cartographic and geoinformation products as outcomes of cartographic support for scientific and production activities. To systematize the current array of results within the conventional framework of cartographic support as a product of cartographic work a symbiotic approach is proposed that emphasizes the interaction among cartographic, geoinformation, and information support. The developed graphical models capture contemporary practices of attributing a wide spectrum of both cartographic and geoinformation products and models to cartographic support. At the same time, these models underscore the inconsistent and sometimes chaotic use of the term "cartographic support" when designating research findings associated with this type of cartographic activity. To address the limitations inherent in the traditional conception of cartographic support alternative approaches that reconceptualize cartographic support as a systemic process focused on delivering final products to consumers are explored in the article. This perspective enables the identification and characterization of cognitive, communicative, technical, and other relevant dimensions involved in handling spatial data through contemporary digital cartographic and geoinformation products. The findings provide necessary and sufficient conditions to enhance the efficiency of cartographic support and advance its theoretical and methodological foundations. Ultimately, the study positions cartographic support as an applied discipline that integrates cartographic methodologies within the broader digital transformation of scientific and production activities.

Keywords: cartographic works, cartographic support, modelling of cartographic processes, scientific and production activities, systematic approach, digital cartographic products

REFERENCES

1. Gomes, F., Menezes, P., & Fernandes, M. (2024). The concept of cartography, definitions from 1960 to 2000. *Mercator*, 23, e23015. 15 p. DOI 10.4215/rm2024.e23015.
2. Lapaine, M., Midtbø, T., Gartner, G., Bandrova, T., Wang, T., & Shen, J. (2021). Definition of the Map. *Advances in Cartography and GIScience of the ICA*, 3(9). 6 p. DOI 10.5194/ica-adv-3-9-2021.
3. Yankelevich, S. S. (2020). Map functions in the post-industrial era. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(25), 160–168. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-160-168. EDN RPSSOJ [in Russian].
4. Habib, M., Okayli, M. (2023). An overview of modern cartographic trends aligned with the ICA's perspective. *Revue Internationale de Géomatique*, 32(1), 1-16. DOI 10.32604/ri.2023.043399. EDN FTVDNF.
5. Kühne, O., Edler, D. (2025) Reconstructing the Map: A Neopragmatist Perspective on Cartography in the Context of Artificial Intelligence (AI). *KN – Journal of Cartography and Geographic Information*. P. 14. DOI 10.1007/s42489-024-00184-8. EDN FMIAPL.
6. Fairbairn, D., Gartner, G. & Peterson, M. P. (2021) Epistemological thoughts on the success of maps and the role of cartography. *International Journal of Cartography*, 7(3), 317–331. DOI 10.1080/23729333.2021.1972909. EDN UJXDUR.
7. Loginov, D. S. (2024). The First Asian Cartographic Conference “AsiaCarto 2024”. *Geodezia i Kartografia [Geodesy and cartography]*, 85 (12), 60–64. DOI 10.22389/0016-7126-2024-1014-12-60-64. EDN NFHTBH [in Russian].
8. Kopylova, N. S., Demidova, P. M., Kolesnik, O. A., Sannikova, A. P., Sasonova, S. G., (2024) Conceptual foundation for spatial data display in the mineral resource sector. *Geodezia i Kartografia [Geodesy and cartography]*, 85(8), 2–13. DOI 10.22389/0016-7126-2024-1010-8-2-13. EDN POWOFK [in Russian].
9. Karmanova, M. V. (2022). *Razrabotka nauchno-metodicheskikh osnov kartograficheskogo obespechenija regional'nyh organov upravlenija v chrezvychajnyh situacijah [Development of scientific and methodological bases of cartographic support of regional emergency management agencies]. Candidate's thesis. Nosovibirsk: SGUGiT. 151 p. EDN DCNPPI [in Russian].*
10. Chernov, I. V., Yakunin V. I. (2023) The process model of creating cartographic products for solving the task of a cartographic production system synthesis. *Geodezia i Kartografia [Geodesy and cartography]*, 84(2), 21–28. DOI 10.22389/0016-7126-2023-992-2-21-28. EDN GQTRIR [in Russian].
11. Alekseenko, N. A. (2019) Topical issues of cartographic supporting specially protected natural areas of Russia. *Geodezia i Kartografia [Geodesy and cartography]*, 80(1), 13–23. DOI 10.22389/0016-7126-2019-943-1-13-23. EDN CCOZQS [in Russian].
12. Karpachevskiy, A. M. (2018) *Kartograficheskoe obespechenie planirovaniya razvitiya regional'nyh jelektricheskikh setej [Cartographic support for planning the development of regional electricity networks]. Candidate's thesis. Moscow: MSU. 186 p. EDN LSRBPD [in Russian].*
13. Kusilman, M. V., Zaprudnova, Z. A. (2014) Development of map legend for the mapping of environmental monitoring and control results when constructing objects of the gas industry. *Geodezia i Kartografia [Geodesy and cartography]*, (6), 20–26. DOI 10.22389/0016-7126-2014-888-6-20-26 EDN SJTKYJ [in Russian].
14. Tyuklenkova, E. P., Presnyakov, V. V., & Sinitsina, G. Yu. (2014) Modern problems of the maps of the territory of the Russian Federation taking into account geopolitical interests of the country. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*, (3), p. 783. EDN SYZVOH [in Russian].
15. Batuev, A. R., Bogdanov, V. N., & Dugarova, G. B. (2014) Cartographical Ensuring of Development of Roadside Service *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Nauki o Zemle [News of Irkutsk State University. Series: Geosciences]*, 10, 22–31 EDN SYLCVX [in Russian].

16. Loginov, D. S. (2023) Methodological foundations for preparing a cartographic web service's graphical user interface using geological exploration data. *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and cartography]*, 84 (8), 13–28 [in Russian]. DOI 10.22389/0016-7126-2023-998-8-13-28. EDN COZBDA [in Russian].

17. Koshkarev, A.V. (2023) Terminology of geoinformatics and cartography in the digital age. *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and cartography]*, 84(2), 54–63. DOI 10.22389/0016-7126-2023-992-2-54-63. EDN IPEEOG [in Russian].

Author details

Dmitriy S. Loginov – Ph. D., Associate Professor; Leading GIS-specialist.

Received 29.01.2025

© *D. S. Loginov*, 2025

УДК 528.9:004.4

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-88-97

Применение ГИС-программы «Google Планета Земля» в системе дистанционного мониторинга земель лесного фонда

К. В. Меданова¹, С. А. Балтабеков¹✉

¹Омский ГАУ, г. Омск, Российская Федерация

e-mail: sa.baltabekov@omgau.org

Аннотация. Статья посвящена анализу современных технологий мониторинга земель лесного фонда. Сегодня значительной важностью обладают дистанционные методы наблюдения за состоянием и использованием земель, в том числе ГИС-технологии. В исследовании описаны возможности ГИС-программы «Google Планета Земля». Для территории Называевского лесничества Главного управления лесного хозяйства Омской области проведен анализ состояния и использования земель лесного фонда с применением ГИС-программы. Результаты исследования могут быть использованы для разработки и принятия важных управленческих решений, проектов лесовосстановления, прогнозов и картографической основы.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг земель, земли лесного фонда, ГИС-технологии, Называевское лесничество

Для цитирования:

Меданова К. В., Балтабеков С. А. Применение ГИС-программы «Google Планета Земля» в системе дистанционного мониторинга земель лесного фонда // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 88–97. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-88-97

Введение

В наши дни возникает много проблем по рациональному использованию земель, сохранению, воспроизводству, а также повышению устойчивости лесов. Возникают глобальные экологические, экономические и социальные проблемы, связанные с истощением лесов и вызванные как природными, так и антропогенными факторами [1]. В нашей стране ежегодные потери леса в результате природных и антропогенных воздействий составляют в среднем несколько миллионов гектаров, в отдельные годы – десятки миллионов гектаров [2]. Ухудшается не только экологическое состояние лесов, также теряются их социальные функции и экономическая значимость. В связи с этим в настоящее время оперативность обнаружения возникновения негативных воздействий в лесах с минимальными фондо- и трудозатратами, в целях разработки необходимых стратегий по их устранению обретает особую актуальность.

Современные методы дистанционного зондирования земной поверхности выполняют ключевую роль в мониторинге и планировании землеустроительных, лесоустроительных и сельскохозяйственных мероприятий. Эффективность данных методов достигается путем сбора объективного, широкодоступного и актуального материала.

В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 16.03.2022 N 510-р (ред. от 20.01.2023) «Об утверждении плана мероприятий по реализации Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» п. V «Повышение эффективности государственного управления лесами» сегодня существует множество масштабных государственных программ, включающих в себя использование современных технологий дистанционного мониторинга земной поверхности. Основным инструментарием отслеживания развития негативных воздействий в лесах является мониторинг земель лесного фонда. В качестве основной цели мониторинга зе-

мель уместно выделить полное и своевременное обеспечение органов управления актуальной информацией об объектах мониторинга [3, 4]. Современный мониторинг земель включает в себя методы как дистанционных, так и наземных обследований и наблюдений. Важным научным принципом мониторинга земель является репрезентативность и сопоставимость данных, полученных различными способами их сбора, однако следует отметить, что некоторые факторы ограничивают качественное проведение мониторинговых мероприятий [5]. Например, в связи с труднодоступностью большей части территории Сибири применение технологий наземного мониторинга часто затруднено, авиационные наблюдения характеризуются как более экономически рискованные и сложно реализуемые способы при отсутствии необходимого финансирования [6].

По нашему мнению, в данных условиях наиболее эффективным способом повышения качества мониторинга земель является переход к автоматизированному процессу сбора и обработки данных на основе использования инновационных компьютерных технологий в совокупности с геоинформационными системами [7]. Развитие, глобализация техники и компьютерных технологий позволяют решать большинство задач мониторинга земель лесного фонда, отвечая актуальным требованиям научного принципа ведения лесного хозяйства – использование современных технологий и методов анализа данных [8]. Применение ГИС-технологий в системе мониторинга земель лесного фонда позволяет оперативно анализировать пространственные данные, визуально отображать результаты анализа, а также планировать лесохозяйственные мероприятия на больших площадях земной поверхности за короткое время [9, 10]. Однако в лесном хозяйстве существует ряд специфических задач, требующих исследования локальных лесных участков (лесной квартал) и разработку на них частных решений [11]. В таких случаях применение ГИС-технологий может отличаться особой эффективностью, открывая возможность более детального изучения небольших участков земель лесного фонда [12, 13].

Таким образом, основная цель исследования – проведение дистанционного мониторинга земель лесного фонда с применением ГИС-программы «Google Планета Земля».

Задачи исследования:

- проанализировать современное состояние мониторинга земель лесного фонда;
- изучить способы и методы сбора и обработки информации, выявить проблемы;
- рассмотреть возможности ГИС-программы «Google Планета Земля» при дистанционном мониторинге земель лесного фонда.

Актуальность

Основной задачей государственного мониторинга земель является своевременное выявление изменений состояния земель, оценка и прогнозирование этих изменений, выработка предложений о предотвращении негативного воздействия на земли и по устранению последствий такого воздействия, а также обеспечение органов государственной власти информацией о состоянии окружающей среды в части состояния земель в целях реализации полномочий данных органов в области земельных отношений, включая реализацию полномочий по государственному земельному надзору [14].

Мониторинг земель лесного фонда должен сочетать в себе как мониторинг состояния и использования самих лесных участков, так и произрастающих на них насаждений и недревесных природных ресурсов. В связи с этим содержанием Лесного кодекса Российской Федерации предусмотрены нормы проведения нескольких видов мониторинга, основными из которых являются мониторинг пожарной опасности в лесах, мониторинг использования лесных участков, мониторинг воспроизводства лесов.

Для проведения дистанционного мониторинга земель предлагается использовать геоинформационную программу «Google Планета Земля», как указывается в лицензионном соглашении бесплатного сервиса «Google Планета Земля» (<http://earth.google.com/intl/en-US/license.html>). Использование бесплатной версии «Google Планета Земля» возможно физическими лицами в личных некоммерческих целях, а также хозяйствующими

субъектами и их работниками для внутренних целей.

Материалы и методы

Землеустроительная наука позиционируется как прикладная, объектом исследования была и есть земля, на решение конкретных проблем состояния и использования которой направлены результаты исследований. Объект исследования: территория Называевского лесничества Главного управления лесного хозяйства Омской области.

Предмет исследования: процесс проведения дистанционного мониторинга с применением ГИС-программы «Google Планета Земля».

Методы, используемые при проведении исследования: аналитический, картографический, метод статистики, метод сравнения.

Результаты исследования

Называевское лесничество площадью около 5 900 км² расположено в пределах Западно-Сибирского подтаежно-лесостепного лесного района. Земли лесного фонда занимают около 150 тыс. га. Территория Называевского лесничества характеризуется высоким природно-ресурсным потенциалом, здесь разрешено множество видов лесопользования, однако некоторые климатические и географические особенности района, а также рост антропогенной нагрузки на леса, серьезно затрудняют рациональное земле- и лесопользование [15]. В связи с этим особо актуальным стоит вопрос внедрения и использования современных методов мониторинга земель лесного фонда.

Программный продукт «Google Планета Земля» объединяет обширные возможности поиска объектов и изображений для получения географической, метрической и визуальной информации на основе фотографий, сделанных с космических спутников, электронных карт, моделей ландшафтов и трехмерных моделей зданий и сооружений. Анализ земель лесного фонда Называевского лесничества за 10 лет временного периода производился с использованием функции «Показать исто-

рические фотографии». Временная шкала программы позволяет проводить анализ территории и показывать аэрофотоснимки на протяжении нескольких десятков лет. Функция «Показать исторические снимки» представлена на рис. 1.

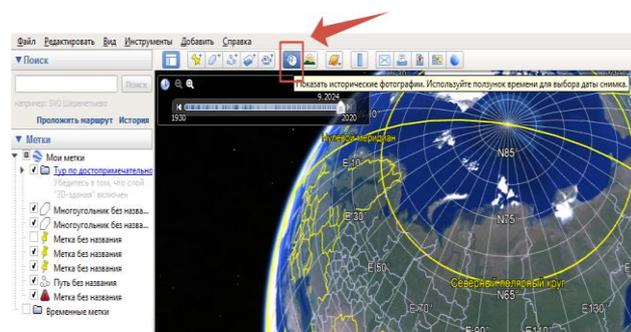


Рис. 1. Интерфейс программы «Google Планета Земля»

Проведенный анализ с помощью данной программы показал, что на некоторой территории Называевского лесничества в 2019 г. видны колки леса с полнотой выше среднего. Лес густой, наблюдается разнорусность (рис. 2).



Рис. 2. Колки леса в 2019 г. на территории Называевского лесничества

В 2024 г. густота стояния деревьев значительно снизилась, наблюдается потеря листвы, а некоторые колки вовсе исчезли. Основные возможные причины: лесные пожары, негативные природные условия (град, бури), нашествие вредителей и вспышки заболеваний (рис. 3).

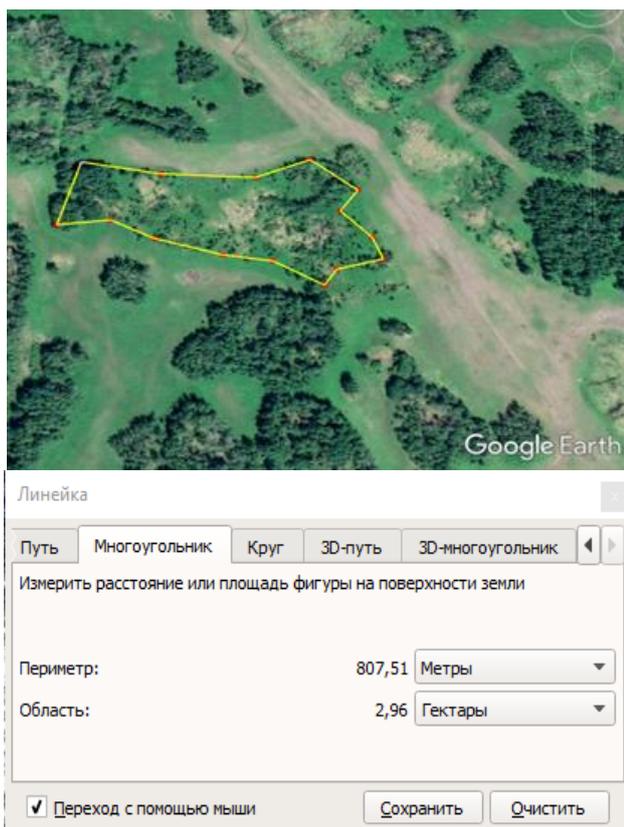


Рис. 3. Колки леса в 2024 г. на территории Называевского лесничества

Применив функцию «Линейка-многоугольник», обводим границы леса, претерпевшего изменения. Полученные данные свидетельствуют о том, что площадь деградированного леса составляет около 3 га.

Функция «Линейка-многоугольник» в интерфейсе ГИС-программы «Google Планета Земля» показана на рис. 4.

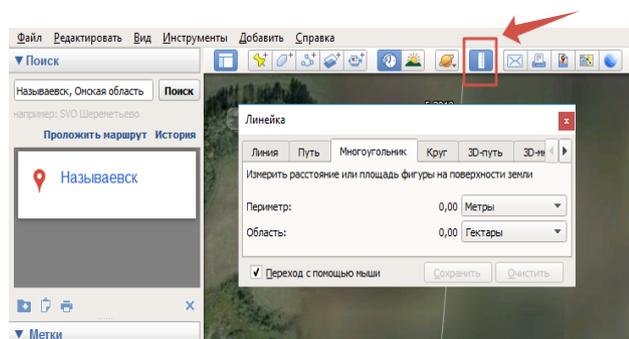


Рис. 4. Функция «Линейка-многоугольник»

Функция «Линейка-многоугольник» позволяет пользователю выделить ломаной ли-

нией наблюдаемый участок по периметру и рассчитать его площадь.

На рис. 5 и 6 показаны последствия лесных пожаров, произошедших в лесах Называевского района.



Рис. 5. Состояние колков леса в 2019 г.

На рис. 5 можно наблюдать колки молодых лесов. Их окраска отличается от спелого леса более светлым тоном. Лес находился в процессе естественного возобновления.

Состояние колков леса в 2024 г. показано на рис. 6.

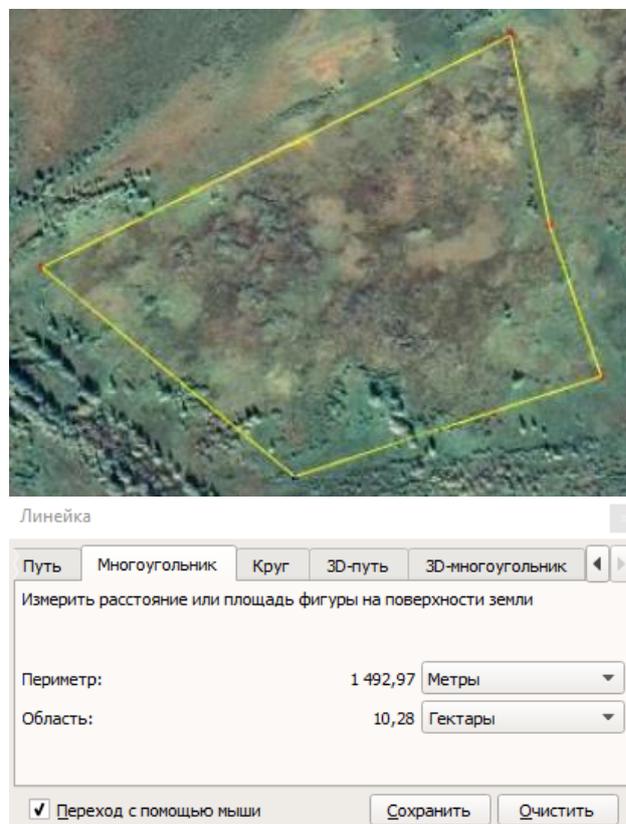


Рис. 6. Состояние колков леса в 2024 г.

На рис. 6 в 2024 г. лесные пожары явились причиной исчезновения участка молодого леса (около 10,3 га), на что указывает изменение цветовой гаммы участка: появляется темный цвет, соответствующий сгоревшей лесной подстилке. Остались лишь единичные деревья либо их группы.

Наибольшую площадь земель лесного фонда Называевского района занимают леса эксплуатационного назначения. На рис. 7 показан участок леса эксплуатационного назначения в 2024 г.



Рис. 7. Участок леса эксплуатационного назначения в 2024 г.

В 2024 г. на вырубленной территории наблюдается процесс естественного возобновления леса. Виден подрост, который вскоре займет материнский полог.

Лесные территории Омской области нередко страдают от паводка. Это природное явление ежегодно наносит ощутимый ущерб. Одним из муниципальных образований, где негативное воздействие подтоплений явно выражено, является Называевский район.

Так, площадь вымокающих лесов в 2024 г. в Называевском районе достигла 25 тыс. га, при этом в некоторых березово-осиновых колках произошла полная деградация деревьев. Особенно явно подтопление выражено на северо-западе Называевского района, вблизи границы с Тюменской областью.

На рис. 8 показаны участки леса вдоль железной дороги и сенокоса Называевского района в 2015 г.



Рис. 8. Участки леса вдоль железной дороги и сенокоса Называевского района в 2015 г.

Из снимка на рис. 8 видна территория сенокоса, огражденная по периметру колками леса. Внутри территории также наблюдаются небольшие участки групп деревьев. Снимок этой же территории в 2020 г. показан на рис. 9.



Рис. 9. Участки леса вдоль железной дороги и сенокоса Называевского района в 2020 г.

Процесс подтопления негативно сказался не только на территории сенокоса (который стал заброшенным и зарос), но и на растущих деревьях, которые превратились в сухостой. На рисунке видно, что колки леса приобрели белый цвет, указывающий на стволы деревьев без листвы. Общая площадь подтопленной территории составила около 39 га (рис. 10).

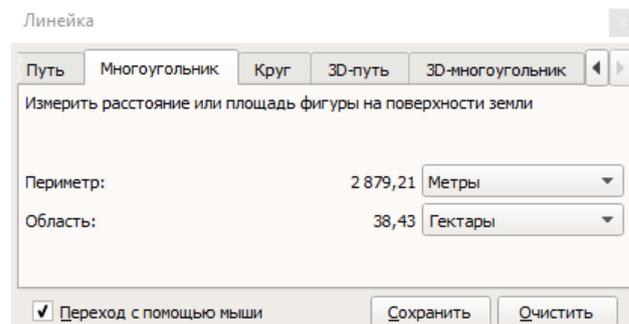


Рис. 10. Участки леса вдоль железной дороги и сенокоса Называевского района в 2024 г.

К 2024 г. данная территория покрылась болотной растительностью. Некоторые участки сухостойного леса исчезли. Также из данного снимка видны участки воды, выступающие из-под земли.

Следующий пример подтопления и заболачивания территории: защитные полосы вдоль автомобильной дороги (рис. 11).



Рис. 11. Защитные полосы лесов вдоль автомобильной дороги в 2010 г.

На рис. 11 показаны защитные леса вдоль автомобильной трассы Исилькуль – Называевск в 2010 г. На рис. 12 – эти же защитные полосы в 2016 г.

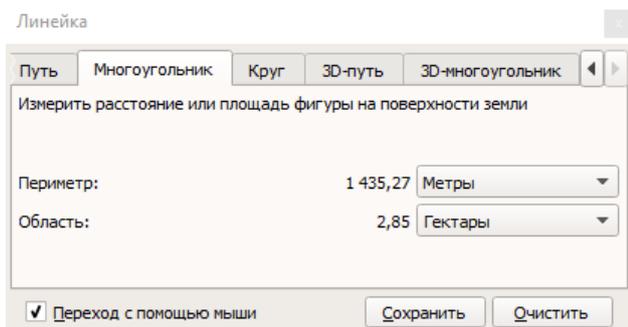


Рис. 12. Защитные полосы лесов вдоль автомобильной дороги в 2016 г.

К 2016 г. наблюдается образование сухостойных лесов. Как и в примере выше, на данном снимке участок леса в светлом тоне ука-

зывает на это. Лесной массив площадью почти в 3 га полностью превратился в сухостой. Если посмотреть на эту территорию выше, то можно наблюдать западнее леса болото Барахман, которое стремительно увеличивается в площади во время весеннего половодья, образуя за отчетный период множество новых «кратеров» с водой (рис. 13, 14).



Рис. 13. Болото Барахман в Называевском районе в 2010 г.

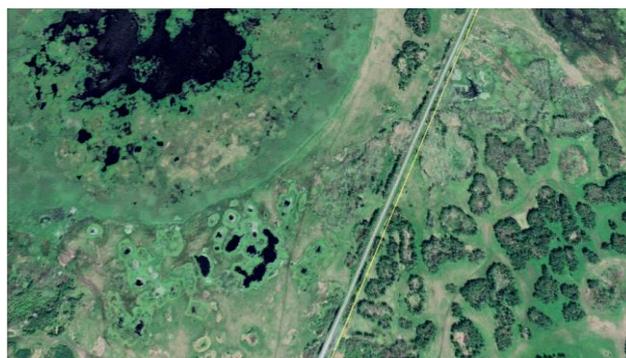


Рис. 14. Болото Барахман в Называевском районе в 2024 г.

Образование болотистых площадей и образование сухостойного леса наблюдается также и на другой стороне трассы. Все это говорит об острой необходимости разработки комплекса мелиоративных, а также лесовосстановительных мероприятий с учетом физиологических характеристик пород деревьев, выносливости древостоев к подтоплению и т. д.

Обсуждение результатов

Результатами исследования являются снимки некоторых участков территории

Называевского лесничества, подверженных негативным воздействиям за последние 10 лет. Функции «Показать исторические снимки» и «Линейка-многоугольник» позволили определить периметр и площади данных участков, а также возможные причины произошедших изменений в лесном фонде. Изменения цветовой гаммы, полноты стояния деревьев, наличие и распространение болотистых площадей – все это является признаком деградации или развития отдельных участков. Результаты проведения дистанционного мониторинга земель лесного фонда Называевского лесничества с помощью ГИС-программы «Google Планета Земля» могут использоваться при разработке и принятии важных управленческих решений, проектов лесовосстановления, прогнозов и картографической основы органами лесного хозяйства, органами исполнительной власти и местного самоуправления. Перемещение в нужное географическое место обеспечивает оперативное восприятие и анализ окружающей территории, размеров исследуемого участка и его удаленности от окружающих объектов. Просмотр данных в программе дает реальное представление о том, как сегодня выглядит исследуемая территория, и дает возможность оценить, как она будет выглядеть после завершения проекта. Это гораздо нагляднее по сравнению с использованием карт, планов и схем.

Выводы

Автоматизация процессов и общий технологический прогресс не стоят на месте, не являются застывшими во времени. Современные условия диктуют требования к информации с большей достоверностью и оперативностью сбора. Для достижения этих целей необходим постоянный контроль, особенно в районах активного лесопромышленного освоения и особо охраняемых территориях. В исследовании проведен дистанционный мониторинг участков земель лесного фонда Называевского лесничества с применением ГИС-программы «Google Планета Земля», описаны возможности программы в определении площадей наблюдаемых участков и получении снимков за определенный промежуток времени. Такая технология наблюдений обладает своей перспективностью, поскольку это дает возможность получения высококачественных снимков с большой обзорностью, одномоментно, в том числе труднодоступных территорий. Интеграция полученных изображений земной поверхности с данными ГЛР (государственный лесной реестр) позволит не только получать более точную мониторинговую информацию и определять причины изменений в лесном фонде, но и может послужить дополнительным инструментом ведения дистанционного мониторинга земель лесного фонда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хабарова И. А., Хабаров Д. А., Брукман Н. Г., Дручинин С. С. О состоянии земель лесного фонда на территории России // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2018. – № 2. – С. 47. – EDN OTXHGf.
2. Тарасов А. В. Современные методы оперативного картографирования нарушений лесного покрова // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 201–213. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-201-213. – EDN ICKVMG.
3. Меданова К. В., Балтабеков С. А. Геоинформационные технологии как основа создания картографического материала для мониторинга земель лесного фонда // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 2. – С. 86–99. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-86-99. – EDN MCPJRB.
4. Варламов А. А., Гальченко С. А., Антропов Д. В. Роль кадастров и мониторинга земель в информационном обеспечении управления земельными ресурсами // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2018. – № 12 (167).
5. Лебедев П. П., Сизов А. П. Разработка основных положений о картах в системе мониторинга земель // Геодезия и картография. – 2013. – № 8. – С. 18–23. – EDN SERPSH.
6. Керчев И. А., Волкова Е. С., Мельник М. А. Возможности ГИС для изучения процессов распространения уссурийского полиграфа в пихтовых лесах Сибири // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 44–54. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-44-54. – EDN BTYUSI.

7. Дубровский А. В. Возможности применения геоинформационного анализа в решении задач мониторинга и моделирования пространственных структур // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 236–242. – EDN UXVYFB.
8. 30 GIS Applications in Forestry [Электронный ресурс]. – URL: <https://grindgis.com/gis/30-gis-applications-in-forestry> (дата обращения 20.09.2023).
9. Мохирев А. П., Горяева Е. В., Егармин П. А. Создание геоинформационного ресурса для планирования лесозаготовительного производства // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 137–153. – EDN YZFXJX.
10. Пахахинова З. З., Батоцыренов Э. А., Бешенцев А. Н. Картографическая регистрация базовых пространственных объектов для мониторинга природопользования // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 2 (34). – С. 94–104.
11. Фасхутдинов Д. А., Аверьянова Ю. А. Эффективность дистанционного мониторинга состояния окружающей среды // Экологическая безопасность в техносферном пространстве : сборник материалов Пятой Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 20 мая 2022 г. – Екатеринбург : Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2022. – С. 297–299. – EDN CVEQML.
12. Вагизов М. Р. Технология геоинформационного моделирования лесных экосистем // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 г. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, 2023. – С. 56–59. – EDN GCKFRR.
13. Лазарева О. С. Геоинформационные технологии в управлении земельными ресурсами региона // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2014. – № 6 (114). – С. 35–39. – EDN SEZQLF.
14. Карпик А. П., Жарников В. Б., Ларионов Ю. С. Рациональное землепользование в системе современного пространственного развития страны, его основные принципы и механизмы // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 232–246. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-232-246. – EDN RGXENM.
15. Гилева Л. Н., Балтабеков С. А. Анализ лесопользования на территории Называевского муниципального района Омской области // Актуальные проблемы геодезии, землеустройства и кадастра : сборник материалов III региональной научно-практической конференции, Омск, 30 марта 2021 г. – Омск : Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2021. – С. 131–137. – EDN WPCZWR.

Об авторах

Ксения Викторовна Меданова – кандидат экономических наук, доцент кафедры землеустройства.

Сайран Адильбекович Балтабеков – ассистент кафедры землеустройства.

Получено 08.10.2024

© К. В. Меданова, С. А. Балтабеков, 2025

Enhancing forest land monitoring through GIS Google Earth technology

K. V. Medanova¹, S. A. Baltabekov¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Omsk State Agrarian University, Omsk, Russian Federation

e-mail: sa.baltabekov@omgau.org

Abstract. Today remote sensing techniques play a crucial role in evaluating the state and use of forestlands, with GIS emerging as key tools. The authors analyze up-to-date technologies for forest land monitoring and explore the potential applications of the GIS Google Earth. Taking the territory of Nazyvaevsky Forestry Department under the Main Directorate of Forestry of Omsk Region as a case study, an analysis on the current state and usage of forestlands by employing GIS Google Earth technology was conducted. The findings from the research provide insights for developing critical management decisions, reforestation initiatives, forecasts, predictive modeling efforts, and contribute to accurate mapping resources.

Keywords: remote monitoring of lands, lands of the forest fund, geoinformation technologies, Nazyvaevsky forestry

REFERENCE

1. Khabarova I. A., Khabarov D. A., Brukman N. G., Druchinin S. S. (2018). On the state of forest lands in Russia *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy Integral [International Journal of Applied Sciences and Technologies Integral]*. No. 2. P. 47. EDN OTXHGF [in Russian].
2. Tarasov A. V. (2020). Modern methods of operational mapping of forest cover violations // *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGiT]* Vol. 25, No. 3. Pp. 201–213. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-201-213. EDN ICKBMG [in Russian].
3. Medanova K. V., Baltabekov S. A. (2024). Geoinformation technologies as the basis for creating cartographic material for monitoring forest lands *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGiT]* Vol. 29, No. 2. Pp. 86–99. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-86-99. EDN MCPJRB [in Russian].
4. Varlamov A. A., Galchenko S. A., Antropov D. V. (2018). The role of cadastral and land monitoring in information support of land management *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel' [Land management, cadastre and land monitoring]*. No. 12(167) [in Russian].
5. Lebedev P. P., Sizov A. P. (2013). Development of the basic provisions on maps in the land monitoring system *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*. No. 8. Pp. 18–23. EDN SERPSH [in Russian].
6. Kerchev I. A., Volkova E. S., Melnik M. A. (2021) The possibilities of GIS for studying the processes of spreading the Ussuri polygraph in Siberian fir forests *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGiT]* Vol. 26, No. 4. Pp. 44–54. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-44-54. EDN BTYUSI [in Russian].
7. Dubrovsky, A. V. The possibilities of using geoinformation analysis in solving problems of monitoring and modeling spatial structures *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"yemka [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]*. 2015. No. S5. Pp. 236-242. EDN UXVYFB [in Russian].
8. 30 GIS Applications in Forestry. Retrieved from <https://grindgis.com/gis/30-gis-applications-in-forestry> (accessed 09/20/2023). [in Russian].
9. Mohirev A. P., Goryaeva E. V., Egarmin P. A. (2017). Creation of a geoinformation resource for planning logging production *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGiT]* Vol. 22, No. 2. Pp. 137-153. EDN YZFXJX [in Russian].
10. Pakhakhinova Z. Z., Batotsyrenov E. A., Beshentsev A. N. (2016). Cartographic registration of basic spatial objects for monitoring environmental management *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGiT]* Vol. 25, No. 3, 90–104 [in Russian].
11. Faskhutdinov, D. A. (2022) Effectiveness of remote monitoring of the state of the environment / D. A. Faskhutdinov, Yu. A. Averyanova *Ekologicheskaya bezopasnost' v tekhnosfernom prostranstve : sbornik materialov Pyatoy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii prepodavateley, molodykh uchenykh i studentov, Yekaterinburg, 20 maya 2022 goda. [Environmental safety in the technosphere : a collection of materials from the Fifth International Scientific and Practical Conference of Teachers, Young Scientists and Students, Yekaterinburg, May 20, 2022]*. Yekaterinburg: Russian State Vocational Pedagogical University, Pp. 297–299. EDN CVEQML [in Russian].

12. Vagizov, M. R. (2023) Technology of geoinformation modeling of forest eco-systems *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye : Materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 24–26 maya 2023 goda [Forests of Russia: politics, industry, science, education : Materials of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference, St. Petersburg, May 24-26, 2023.]* St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, 2023. Pp. 56–59. EDN GCKFRR [in Russian].

13. Lazareva, O. S. (2014). Geoinformation technologies in the management of land resources of the region *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel' [Land management, cadastre and land monitoring]*. № 6(114). Pp. 35–39. EDN SEZQLF [in Russian].

14. Karpik, A. P., Zharnikov, V. B., Larionov Yu. S. (2019). Rational land use in the system of modern spatial development of the country, its basic principles and mechanisms management *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGiT]* Vol. 24, No. 4. Pp. 232–246. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-232-246. EDN RGXENM [in Russian].

15. Gileva, L. N., Baltabekov S. A. Analysis of forest management in the territory of the Nazyvaevsky municipal district of the Omsk region Actual problems of geodesy, land management and cadastre *Aktual'nyye problemy geodezii, zemleustroystva i kadastra : Sbornik materialov III regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Omsk, 30 marta 2021 goda [Collection of materials of the III regional scientific and practical conference, Omsk, March 30, 2021. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2021]*. Pp. 131–137. EDN WPCZWR [in Russian].

Author details

Ksenia V. Medanova – PhD, Associate Professor of the Department of Land Management.

Sairan A. Baltabekov – Assistant of the Department of Land Management.

Received 08.10.2024

© K. V. Medanova, S. A. Baltabekov, 2025

УДК 528.9 (571.5)

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-98-108

Картографирование структуры геосистем для проектирования экологической тропы на полуострове Святой Нос (озеро Байкал)

С. А. Седых¹✉

¹ Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация

e-mail sedykh@li.ru

Аннотация. Представлены результаты изучения и картографирования геосистем хребта полуострова Святой Нос и подгорных наклонных плато. Полевые исследования проводились в 2020–2021 гг. в рамках задачи проектирования (продления) экологической тропы от горы Макарова (1 878 м) до Чивыркуйского залива. Пожарами 2012 и 2015 гг. были нарушены значительные площади склоновых горно-таежных участков, подгольцового кустарниково-редколесного пояса и даже отдельные вершины гольцового пояса. Исследование направлено на изучение структуры геосистем (ландшафтов) с целью обоснования возможности прокладки полотна тропы при приоритете сохранения природных комплексов. При пространственном ГИС-анализе территории использовался регионально-типологический подход, разработанный в иркутской географической школе для регионов Азиатской России. Реализация подхода позволила выявить структуру геосистем полуострова на 2024 г. с учетом факторов природной динамики и последствий пожаров. Легенда карты отражает как региональные закономерности, так и местные особенности формирования и функционирования топологических геосистем. Разнообразие геосистем хребта обусловлено мозаичностью условий по крутизне и экспозиции склонов в условиях сильно расчлененного горного рельефа, развитых криогенных и склоновых процессов, а также полуаридного климата. Маршруты с описанием локальных ландшафтов и фотофиксацией выполнены: от берега озера через подгорную наклонную равнину, по южному подъему на хребет до подножия гольцового пояса, вдоль гребня хребта и далее по северному спуску в бухту Крестовскую. Для территории коридора тропы составлена типологическая карта масштаба 1 : 50 000, на которой выделено 43 типа топологических ландшафтов на площади 61 км². Эта базовая ландшафтно-типологическая карта служит основой для создания производных и специализированных карт оценки устойчивости и нарушенности геосистем.

Ключевые слова: озеро Байкал, полуостров Святой Нос, топологические геосистемы, ландшафтно-типологическая карта, экологическая тропа, данные ДЗЗ

Для цитирования:

Седых С. А. Картографирование структуры геосистем для проектирования экологической тропы на полуострове Святой Нос (озеро Байкал) // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 98–108. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-98-108

Введение

Особо охраняемая природная территория (ООПТ) «Заповедное Подлеморье» охватывает обширную и разнообразную территорию в трех субъектах охраны. Среди них Забайкальский национальный парк (ЗНП) имеет площадь 2 690 км² (включая акватории Чивыркуйского и Баргузинского заливов), а по-

луостров Святой Нос – 456 км². При этом реальная площадь горной местности значительно больше. В центральной части территории расположен отдельный Срединный хребет с высотами до 1 878 м, где проводились авторские полевые работы и картографирование геосистем.

Картографическая изученность. Ландшафтные и отраслевые карты (геоморфологи-

ческие, почвенные, геоботанические) для территории ЗНП создавались в разные годы (1990–2010-е) и в различных масштабах. К ним относятся карты масштаба 1 : 500 000 – ландшафтные и оценочные [1]. К 2012 г. была составлена геоботаническая карта масштаба 1 : 200 000 [2], а также карта масштаба 1 : 500 000 [3]. Для отдельных полигонов и участков были созданы ландшафтные карты и планы [4] в период с 2000 по 2008 г. Ряд природных карт вошел в современную базовую документацию ООПТ «Заповедное Подлесье».

Полевые работы на полуострове проводились в 2020–2021 гг. в рамках проектирования с улучшением и продлением туристической тропы от гольца Макарова до бухты Крестовской (уже существующий участок). Идея этой тропы была предложена коллегами еще в 2019 г. [5, с. 90]. Проведение работ на местности поддержал фонд «Озеро Байкал».

Маршрут пролегал от подгорной наклонной равнины Баргузинского залива до подножия гольца Макарова (1 877 м), далее – по гребню хребта с вершинами около 1 800 м, характеризующегося развитыми экзогенными процессами, и заканчивался выходом в северо-восточные бухты Чивыркуйского залива. Обязательной частью исследования стало картографирование геосистем с оценкой пирогенного влияния и экзогенных рельефообразующих процессов в горном районе.

Данный участок перспективен для развития рекреационной деятельности как часть маршрутов посещения ЗНП с возможностью ночевки. По этой причине особенно важно отразить структуру реальных геосистем и их характеристики в крупном масштабе. Разрушительные пожары 2012 и 2015 гг. затронули значительные площади южной части полуострова вплоть до вершин хребта.

Более 25 тысяч туристов посещают ЗНП летом. Основную рекреационную нагрузку испытывают прибрежно-береговые геосистемы с бухтами у подножия хребта. На хребет летом поднимаются преимущественно спортивные группы, однако рост интереса к хайкингу и познавательному туризму повышает уязвимость и значение горных участков, покрытых лесами и кустарниковыми сообще-

ствами, отличающимися повышенной горючестью.

Рекогносцировочное обследование территории проводилось на участках с репрезентативными условиями (СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания», пункт 6.2.8), где закладывались площадки комплексного описания ландшафтов (геосистем). Ландшафт выступает комплексным индикатором всех природных сред. Полученные данные могут быть использованы в дальнейших инженерно-экологических изысканиях для разработки природоохранных предложений по сохранению уникального района.

Цель исследования – создание геоинформационного проекта с векторной геосистемной (ландшафтной) картой на основе актуальных полевых и дистанционно-картографических данных.

Материалы и методы исследования

Физико-географическая характеристика. Полуостров Святой Нос имеет площадь 456 000 км² (на плоскости, а реальная площадь горной расчлененной местности больше). Протяженность береговой линии составляет 138 км (рис. 1, на котором красной полилинией показана тропа на полуострове Святой Нос, точками – начало и конец маршрута, основные лагеря).

На значительной части территории полуострова наблюдается условно засушливый (полузасушливый) климат с годовым количеством осадков от 250 до 600 мм [6], что связано с выносом воздушных масс в акваторию Байкала. На побережье количество осадков еще меньше: по данным станции Нижнее Изголовье – 425 мм в год. Отчетливо выражено резкое различие между двумя типами климата: на побережье – минимальные значения, на водоразделах осевого хребта – максимумы от 500 до 600 мм.

Структура западного и восточного макросклонов полуострова в его северо-восточной части асимметрична, что обусловлено неотектоническими движениями. Это остаточный, или «вздыбленный» к юго-западу горст по В. М. Ламакину [7]. Срединный хребет сложен породами архейских и нижнепротерозой-

ских толщ (граниты, гранитогнейсы, мраморы). Гребень хребта представляет собой отдельный узкий массив длиной 53 км, сложенный преимущественно крестовской серией (архейские кристаллические мраморы, сланцы, кварциты), с плоскими вершинами. На высотном ярусе от 1 600 до 1 800 м развит сильно- и среднерасчлененный высокогорный эрозионный рельеф. Вершины хребта (гольцы) сформированы поверхностями выравнивания со скалистыми гребнями и каровыми цирками.



Рис. 1. Высотная цифровая модель рельефа Забайкальского парка с шагом 125 м (от 456 до 2463 м)

Наиболее доступной для хайкинга из вершин является высочайший гольц среднегорья – Маркова (1 878 м). На восточном и западном склонах вершины расположен нивальный уступ, где до июля сохраняются снежники. Уклоны склонов здесь составляют от 30 до 60°.

Граница хребта и Чивыркуйского перешейка, сформированного аллювиальными отложениями реки Баргузин 15–8 тыс. лет назад [1], проходит на высоте 458–468 м и имеет протяженность около 9,7 км. С восточного макросклона стекает ручей Буртуй – единственный водный поток, достигающий заболоченной равнины перешейка и впадающий далее в озеро Малый Арангатуй.

В условиях высокогорья развита многолетняя мерзлота толщиной 20–50 м (по данным геологической съемки 1970-х гг.). Голь-

цовые поверхности выравнивания с криогенно-нивальными эффектами сформированы в период последнего горно-долинного оледенения около 11,7 тыс. лет назад [8].

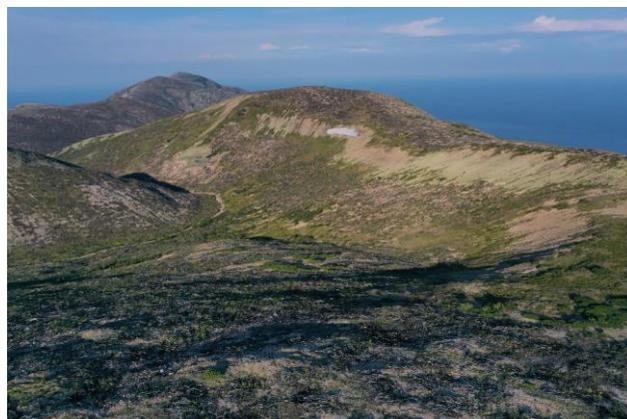


Рис. 2. Гольцовая вершина горы Маркова, снежник на склоне (вид на юг полуострова с высоты 100 м). Фото: А. Е. Разуваева, 11.07.2021

По материалам лесоустройства и карты растительности, в составе залесенной территории более 55 % занимают склоновые и подгорные сосновые леса с примесью лиственницы сибирской и мелколиственных сукцесий. Лиственничные леса распространены в северо-западной части полуострова. Пихтово-еловые и кедровые сообщества встречаются локально, преимущественно в увлажненных долинах рек востока района. Возраст ненарушенных лесов может превышать 200 лет. Селитебные территории ограничены узкой полосой вдоль западного берега Чивыркуйского залива.

Методы исследования

Актуальность использования регионально-типологического подхода обусловлена необходимостью проведения ГИС-анализа и картографического отображения разнородных природных комплексов в условиях глобальных и региональных изменений, с выделением их важных экологических функций. Данный подход нашел применение в ряде горных регионов Северо-Восточной Азии [9] и на юге Западного полушария [10].

Базовая ландшафтно-типологическая (геосистемная) карта отражает топологические (локального уровня) геосистемы, доступные обзору и изучению исследователем в полевых условиях, с последующей верификацией на местности.

При использовании структурно-динамического метода объектами анализа и ландшафтно-типологического картографирования в крупном масштабе выступают геосистемы на уровне однородных фаций и их группировок. Если локальная геосистема в коренном состоянии может быть представлена на плакоре или «плакоровидной» поверхности в горах, то ее инварианты формируются под влиянием как естественных (включая природные пожары), так и антропогенных факторов. В ходе исследований были зафиксированы восстановительные сукцессии различного возраста, начиная от гарей, обозначенных на топографических картах 1970-х гг. Здесь произошло формирование лесных экосистем, представленных смешанными темнохвойными и сосново-лиственничными лесами.

Большинство геосистем района выполняют средозащитные и средоформирующие функции, являясь резерватами редких видов растений и животных (всего 977 видов и подвидов растений, 303 вида животных) на особо охраняемой природной территории ЗНП. Результаты полевых исследований 2020–2021 гг. были оформлены в виде геореляционной таблицы, включающей 80 точек описаний ландшафтов с координатами и фотографиями. Площадки описаний были заложены на осевом хребте, вершинах и склонах, а также на подгорных равнинах и озерных террасах, в диапазоне высот от 1 886 до 456 м над уровнем моря.

В ходе маршрутных обследований в июле – августе на полуострове Святой Нос были зафиксированы следующие параметры: увлажнение, микрорельеф, состав и характеристики поверхностных отложений, генезис рельефа, структуры и формы, проявления экзогенных геологических процессов и явлений, горизонтальное и вертикальное распределение растительности (по шкале Друде), почвенное описание первых горизонтов (по возможности), а также название и характеристика элемен-

тарного природного комплекса (например, вершинный шикшицево-лишайниковый с ерниковой березкой *Betula nana*). Эти описания послужили основой для анализа в совокупности с пространственными геоизображениями.

В работе была принята трехэтапная система картографирования в крупном масштабе. Камеральное изучение имеющихся опубликованных и фондовых материалов показало наличие лесоустроительных планов, обладающих специфической отраслевой методологией: работой по кварталам и утвержденным выделам по преобладающей лесообразующей породе.

Для дальнейших работ была создана цифровая модель рельефа (ЦМР) на основе данных радиометров ALOS (прибор DAICHI) с разрешением 30 м/пиксель (см. рис. 1). На основе ЦМР разработаны модели крутизны и экспозиции склонов с дифференцированной шкалой для горных условий: субгоризонтальные поверхности (0–3°), пологие склоны (3–6°), покатые склоны (10–20°), склоны средней крутизны (20–30°), крутые склоны (30–40°), обрывистые склоны (40–55°), уступы (более 55°). С учетом разделения склонов по экспозиции (преобладают юго-восточные склоны) были определены основные типы местоположений, которым затем присваивались значения характеристик растительности и почвогрунтов. Для этого использовались данные дистанционного зондирования (ДДЗ): осуществлен синтез и классификация снимков Landsat 8 и Sentinel 2 за июль по опорным точкам полевых описаний (метод дерева решений), а также экспертное выделение в спорных участках.

На полевой стадии (этапе 2) проведены уточнение контуров в поле и работа с GPS и беспилотным летательным аппаратом DJI Mavic 2 (отдельные кадры съемки, коридоры пролета). Снимки с дрона позволили выделить отдельные элементарные ландшафты и их компоненты: скальные останцы, гребни, седловины, ложбины стока и другие формы. Границы гарей определялись по данным дистанционного зондирования и лесоустроительным планам.

Третий этап включал итоговое оформление векторного слоя с площадью выделов от

0,1 до 10 км² [11, 12], их семантическую характеристику в легенде, специальные обозначения и индексы.

Итоговые базовые и тематические слои были переведены в проекцию Гаусса – Крюгера (Пулково-1942), зона 19, в масштабе 1 : 50 000 – для коридора тропы. К ним относятся полигоны природных комплексов и пожаров за период 1989–2021 гг. Последний слой включает 74 полигона с индексами, точечные значки, легенду с детальными характеристиками локальных типов ландшафтов.

Заголовки в легенде отражают верхние таксоны ландшафтной среды. Для групп фаций использованы условные знаки в виде площадной «шашечки» с характеристикой. Синтаксические элементы внутри условного знака отражают свойства геосистемы в рамках метода отображения качественным фоном. Так, цвет и тон в «шашечке» соотнесены с преобладающей лесной породой, для склонов дана наклонная штриховка, для заболоченных урочищ – пунктирная штриховка и т. д.

Результаты исследования

Полевой маршрут по Срединному хребту был пройден по существующей тропе до гольца Макарова (1 878 м), далее – по водоразделам хребта заповедной зоны с последующим спуском в долину реки Крестовской до ее устья – бухты Байкала. Общая протяженность маршрута составила около 25 км. Охват коридора тропы составлял радиус в один километр для обеспечения детального изучения [12].

Начало тропы (нулевой километр) расположено на прибрежной наклонной аллювиально-делювиальной равнине в местности Глинка, где установлен информационный портал. До южного подъема на хребет по гребню отрога преобладают светлохвойные (сосновые с примесью лиственницы) кустарниково-кустарничковые сообщества (выдел еб – номер выдела на карте (рис. 3).

Пожар 2012 г. возник вследствие сухой грозы и распространился по высотным поясам. В верхней части он достиг подножия гольца Макарова (1 877 м), охватив подгольцовый кустарниково-редколесный пояс на высотах до 1 700 м. В нижней части пожар

был ограничен противопожарными рвами. На склоновых гарях и свежих шлейфах выноса восстановление происходит пятнами через разреженный подрост осины и березы; здесь активно развивается плоскостная эрозия. В подгольцовом поясе после пожара сформировались пирогенные каменистые пустоши, где восстановление отмечено лишь фрагментарно – преимущественно за счет единичных экземпляров ерниковой березы [13].

Базовая стоянка была организована на истоках ручья у подножия гольца Макарова (выдел а1). Место окружено тремя вершинами выше 1 800 м. Здесь развиты водораздельно-криогенные и склоново-криогенные процессы, отмечена термокарстовая воронка. Ранее в летний период наблюдались сети мочажин и мини-озер в условиях горной тундры [4]. В настоящее время имеются временные водотоки надмерзлотного происхождения, стекающие с гольцовой террасы вниз.

Маршрут по оси Срединного хребта (высоты 1 500–1 887 м) охватил вершины и склоны гор (выделы а2–а5). Ступенчатые водоразделы к северу от гольца Макарова находятся в интервале высот от 1 400 до 1 800 м. Ниже представлены типы ландшафтов: подгольцовый кедрово-стланиковый пояс пониженных вершин (б1), склоны (б2–б6) с редкой сосной, переход к высокогорным светлохвойным редколесьям с березой.

В центральной части высокогорья отдельные участки были затронуты низовым пожаром 2015 г. Горно-таежный пояс (до 1 200 м) и подгольцовый кустарниково-редколесный пояс с редколесьями и рединами (более 50 км²) были охвачены огнем до высоты 1 600 м. Антропогенный пожар начался на мысе Нижнее Изгололье и распространился до уплощенных вершин хребта (вплоть до 1 700 м) и седловин на высотах 1 500–1 400 м. На западе огонь был ограничен распадками в истоках реки Еловой, на востоке – расчлененными долинами истоков ручья Буртуй.

Водоразделы хребта постепенно снижаются к северо-востоку полуострова. В интервале высот 1 300–800 м представлены восстановительные стадии на месте гарей 1970-х гг. На северо-востоке полуострова, ниже 1 000 м, развиваются темнохвойные чернично-бада-

ново-осоковые сообщества ограниченного распространения на месте пожаров. На южных и юго-восточных склонах, а также на дне распадков встречаются горные луга, часто приуроченные к выходам мраморов и гранитов – продуктам выветривания горных пород. При высокой крутизне склонов и малом количестве осадков почвенный покров развит слабо.

Ниже 1 000 м развиты лиственнично-темнохвойные леса (выдел е4) типа байкало-дзуджурской тайги. В надпочвенном покрове распространены кустарнички: черника, брусника, далее – бадан, осоки (*Carex*).

На инсолированных склонах встречаются светлохвойные фации (выделы е2, е5, е6), в которых доминируют кустарнички: рододендроны, спирея. На опушках формируются горные разнотравные луга («елаканы»).

На пологих и покатых склонах у подножий отрогов отмечаются темнохвойные леса, в которых первый ярус представлен пихтой и кедром, второй – иногда осиной или елью.

Надпочвенный покров имеет степень сомкнутости 50–70 %, включает бадан, осоку, зеленые мхи (выдел е11).

Темнохвойная тайга (в нижней части пояса преобладают кедрачи с примесью ели и пихты, в верхней – пихтачи с участием осины) представлена на плоских водоразделах и склонах, спускающихся к бассейнам рек Крестовской и Маршалихи, – это умеренно расчлененные долины с постоянными и временными водотоками. Данный поясной тип относится к «влажному прибайкальскому типу поясности» [14], наиболее выраженному на западном макросклоне Баргузинского хребта.

В устье реки Крестовской выделены типы субаквально-аквальных фаций (ф1–ф4): затопленный конус выноса с замкнутыми водоемами («сорями»), аккумулятивные песчаные пляжи. Комплекс, включающий как минимум две речные террасы, покрыт преимущественно темнохвойными лесами, где кедрачи с елью подходят непосредственно к намывному валу из аллювия на берегу озера (ф5).

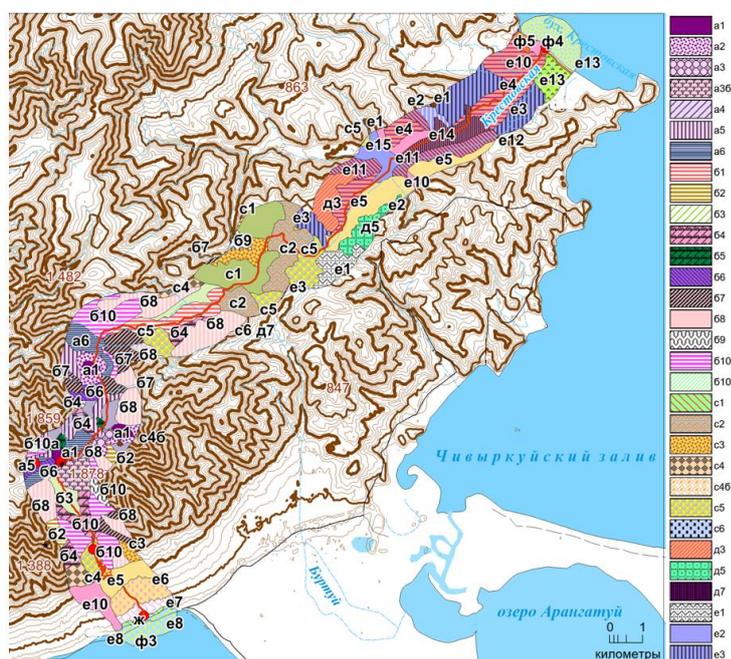


Рис. 3. Геосистемы коридора тропы (уменьшенный вариант от 1 : 50 000)

Экспликация ландшафтно-типологической карты. Геосистемы Северной Азии зоны тайги и пояса среднегорий (тип природной среды).

1. А. Гольцовые горно-тундровые (1 878–1 300 м):

- а1. Вершин уплощенных гранитогнейсовых глыбовых гор горно-тундровые лишайниковые с угнетенным кедровым стлаником;
- а2. Крутого нивального уступа и покатых склонов лишайниковые, чернично-шик-

шиевые с группировками кедрового стланика и можжевельника;

– а3. Покатых склонов горно-тундровые и кедрово-стланиковые (а3б –нивальные);

– а4. Пологих склонов кедрово-стланиковые и ерничково-березовые;

– а5. Склонов южной и восточной экспозиции с ступенями седиментации лишайниковые на мелкоглыбовых россыпях и с редким кедровым стлаником, мочажинами в нишах в обрамлении зеленых мхов;

– а6. Гари в гольцовом поясе (на вершинах и склонах).

2. Б. Подгольцовые сниженных вершин гор и склонов (1 400–900 м):

– б1. Вершин бруснично-шикшиеево-лишайниковые с редкими группами стланика и единичными молодняками кедра, с древесными пустошами и отдельными выветренными глыбами;

– б2. Привершинных склонов кедрово-стланиковая с пятнами горных тундр на курумах;

– б3. Крутых и покатых гравитационного сноса склонов с курумами с осыпями;

– б4. Крутых склонов кедрово-стланиковые чернично-шикшиевые с можжевельником, нишами и коридорами выветривания;

– б5. Ступенчатых склонов кустарничково-моховые (брусника, черника) с нивальными нишами и мочажинами;

– б6. Ступеней седиментации под гольцами травяно-луговые (пустоши) с нивальными нишами и мочажинами;

– б7. Межгорных плоских понижений пустотная травяно-луговая (с кладонией и ветреницей);

– б8. Распадков с гравитационными осыпями и шлейфами выноса кустарничково-кустарниковые из кедрового стланика, ерника, ив с баданово-осочковым покровом;

– б9. Верхних звеньев водосборной сети кедрово-стланиковые шикшиеево-лишайниковые с овсяницево-осоково-плауновыми полянами и можжевельником;

– б10. Сгоревшие участки кустарниковые и надпочвенный покров (б10а – гари с восстановлением).

3. С. Горно-таежные лиственнично-сосновые (ниже 1 250 и до 900 м, верхняя часть пояса):

– с1. Покатых склонов редколесные сосновые, кустарничково-мелкотравно-лишайниковые с выходами скальных гряд, останцев и глыбовых полей;

– с2. Пологово-склоновые редколесные сосновые с каменной березой шерстистой на петроземах;

– с3. Пологих юго-восточных и южных склонов редколесные сосновые кустарничково-мелкотравно-лишайниковые;

– с4. Гари сплошные с эрозией по склонам, со шлейфами выноса делювиальных отложений. (с4б. – гари пятнистые);

– с5. Водосборных понижений и верховьев ручьев лиственнично-сосновые спиреево-травяные с луговинами разнотравными;

– с6. Покатых склонов лиственничные с кедрово-стланиковым подлеском кустарничково-моховые.

4. Д. Средняя часть горно-таежного пояса (1 000–700 м):

– д3. Склонов – сосново-лиственничная бруснично-мелкотравно-моховая с осинкой, рябиной на перегнойных почвах);

– д5. Гребней и верхней части склонов кедрово-лиственничная бруснично-мелкотравно-моховая с рябиной на перегнойных почвах;

– д7. Врезанных мелких речных долин с лиственнично-сосновыми редколесьями, пихтой и ивой по пойме, осинкой на террасах

5. Е. Нижняя часть горно-таежного пояса и подгорная (800–460 м):

– е1. Уплотненных водоразделов лиственничные с сосной, хвощово-мелкотравные;

– е2. Пологих юго-восточных склонов лиственничная с сосной голубично-багульничково-мелкотравная на лесных оподзоленных почвах);

– е3. Склоновые лиственничные с кедром, осочково-травяные, кедрово-еловая хвощово-мелкотравно-моховая на иллювиальных перегнойных почвах;

– е4. Субгоризонтальных поверхностей кедровые с лиственницей, брусничные с осинкой, вторым ярусом из пихты, ели багульничково-осочково-моховые;

– е5. Пологих склонов на делювиальных шлейфах выноса лиственнично-сосновые кустарничково-травяно-моховые с мелколиственничными пятнами на месте гарей;

- е6. Плоской подгорной равнины сосновые рододендрово-брусничничные;
- е7. Озерных террас сосновые с лиственницей бруснично-мелкотравные;
- е8. Озерных террас и скальных уступов сосново-мелколиственные с душекией нарушенные;
- е10. Склонов лиственничные спиреево-травяные с березой и осинкой в подросте, с ольхой на подзолистых почвах;
- е11. Склоновые пихтово-кедровые с лиственницей, кустарниковые осоково-хвощово-моховые;
- е12. Низинных бугристых болот осоково-сфагновые звенья со старицами, с кедром и сосной по краю;
- е13. Низинных осоковых болот, развитых на месте заросших бухт и эстуариев;
- е14. Межгорных депрессий лиственничные с елью, мелкотравно-зеленомошные на перегнойно-глеевых почвах;
- е15. Пойменные, нижней части пологих склонов кедрово-пихтово-лиственничные с пихтой в пологе хвощево-мелкотравные.

6. Ф. Ландшафты берегов и заливов Байкальской котловины:

- ф1. Аккумулятивные берега с мелкопесчаными («белыми») пляжами, с луговой растительностью;
- ф2. Понижений в зоне устья елово-пихтово-кедровые (спелые) насаждения с осоково-моховым покровом на перегнойных почвах;
- ф3. Аквальные мелководные с галечниковым дном (до 35 м);
- ф4. Аквальные мелководные с песчаным дном (до 16 м);
- ф5. Кедровые с елью, травяно-шикшиевые на песчаном береговом валу и озерных террасах.

7. Ж. Селитебные.

Геосистемы локального уровня отображены на итоговой карте масштаба 1 : 50 000, проекция карты – Гаусса – Крюгера, зона 19, система координат Пулково-1942. Протяженность тропы на плоскости равна 32,5 км, ко-

ридор охватывает 61 км², периметр коридора – 62 км. Выделено 43 типа, три подтипа геосистем (ландшафтов) в 6 типологических высотно-поясных единицах (геомах) региональной размерности.

Выводы

Создана ландшафтно-типологическая (геосистемная) карта на основе 80 локальных описаний ландшафтных пробных площадей и данных дистанционного зондирования. Сформированы модели рельефа по данным радиометра ALOS, в том числе детальная карта рельефа ЗНП с шагом в 125 м.

Детализированная карта геосистем отражает их состояние на 2024 г. в условиях полупустынного климата после воздействия пожаров. В рамках картографического слоя выделен 91 полигон, относящийся к 43 топологическим типам. Средняя площадь полигонов составляет 0,39 км² с интервалом изменения от 0,1 до 1 км².

Базовая карта структуры геосистем служит основой для последующего составления оценочных и прогнозных карт. Следующим этапом картографирования станет создание карты геосистем и разработка оценочных и прогнозных моделей применительно к планируемым объектам инфраструктуры. Оценка перспектив развития геосистем требует мониторинга состояния ландшафтов, а также оптимального планирования рекреационных территорий с учетом рисков, связанных с потеплением и аридизацией климата горных районов, а также влиянием пирогенного фактора.

Благодарности

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации АААА-А21-121012190063-2).

Автор выражает отдельную благодарность коллективу ФГБУ «Заповедное Подлесье» за сотрудничество и помощь в организации полевых работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абалаков А. Д., Овдин Е. Д., Новикова Л. С. и др. Территориальная организация Забайкальского национального парка – Иркутск : Институт географии СО РАН, 2002. – 125 с.

2. Цыдыпова М. В. Геоинформационное картографирование лесов особо охраняемых природных территорий: на примере Забайкальского национального парка : дис. ... канд. техн. наук 25.00.33. – Новосибирск, 2013. – 126 с.
3. Калихман Т. П., Богданов В. Н., Огородникова Л. П. Атлас ООПТ Сибири. – Иркутск: Оттиск, 2013. – 384 с.
4. Абалаков А. Д., Берсенева В. О., Новикова Л. С., Овдин Г. Д. Геоэкологические основы организации научно-учебного полигона на особо охраняемых природных территориях – Иркутск : Изд-во Иркутского гос. университета, 2010. – 147 с.
5. Мяздзлец А. В., Лужкова Н. М. Геоинформационное обеспечение и планирование познавательного экотуризма для организации рекреационной деятельности на особо охраняемых природных территориях озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле. – 2022. – Т. 39. – С. 81–98. – DOI 10.26516/2073-3402.2022.39.81. – EDN BRLHMG.
6. Трофимова И. Е. Типизация и картографирование климатов Байкальской горно-котловинной системы // География и природные ресурсы. – 2002. – № 2. – С. 53–61.
7. Ламакин В. В. Неотектоника Байкальской впадины. – М. : Наука, 1968. – 247 с.
8. Belov A. V., Bezrukova E. V. and Sokolova L. P. The Evolutionary-Genetic Basis of Structural-Cenotic Diversity of Modern Vegetation in Prebaikalia // Geography and Natural Resources. – 2018. – Vol. 39, No. 1. – P. 46–54. – DOI 10.1134/S1875372818010079. – EDN UYCIYV.
9. Сочава В. Б. Географические аспекты сибирской тайги. – Новосибирск : Наука, 1980. – 256 с. – EDN RZJHJR.
10. Braz A. M., De Oliveira I. J., De Souza L. C., Chavez E. S. Cluster Analysis for Landscape Typology, Mercator. – May 2020. – Vol. 19(5):1 – P. 1–16 – DOI: 10.4215/rm2020.e19011.
11. Седых С. А. Изучение и картографирование геосистем южной части Баргузинского хребта (бассейн реки Шумилиха) // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 102–116. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-102-116. – EDN QLYAOF.
12. Седых С. А., Биличенко И. Н., Бухарова Е. В., Лужкова Н. М. Ландшафтно-экологический анализ коридора экологической тропы (Забайкальский национальный парк) // Геология, география и глобальная энергия. Издательский дом «Астраханский университет». – Астрахань, 2017. – № 4 (67). – С. 135–145. – EDN YTFMPM.
13. Биличенко И. Н., Лужкова Н. М., Воропай Н. Н. Временная и пространственная локализация лесных пожаров на территории Забайкальского национального парка // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. – 2019. – Т. 29. – С. 39–52. – DOI 10.26516/2073-3402.2019.29.39. – EDN VOTRNA.
14. Тюлина Л. Н. Влажный прибайкальский тип поясности. – Новосибирск : Наука, 1975. – 319 с.

Об авторе

Сергей Анатольевич Седых – кандидат географических наук, старший научный сотрудник.

Получено 12.02.2025

© С. А. Седых, 2025

Designing an Ecological Trail on Cape Svyatoy Nos Peninsula (Lake Baikal) Through Geosystem Structure Mapping

S. A. Sedykh¹✉

¹ SB RAS S. B. Sochava Institute of Geography Irkutsk, Russian Federation

e-mail sedykh@li.ru

Abstract. The study presents the results of examining and mapping the geosystems of the ridge and submontane inclined plateaus on the Svyatoy Nos Peninsula. Field investigations were conducted from 2020 to 2021 as part of the design and proposed extension of an ecological trail connecting Makarov Mountain (1878 m) to Chivyrkuy Bay. Extensive fires in 2012 and 2015 severely impacted large areas of the mountain taiga slopes, alpine shrubby sparse forests, and certain peaks within the high-mountain zone. The primary objective of this research is to analyze the structure of these geosystems (landscapes) to evaluate the feasibility of trail development while prioritizing the conservation of natural complexes. A spatial GIS analysis was performed using a regionally typological approach, developed by the Irkutsk Geographical School specifically for Asian Russia. This methodology enabled a detailed delineation of the peninsula's geosystems as of 2024, incorporating natural dynamics and the lasting effects of fire disturbances. The resulting map legend represents both regional patterns and local specificities of topographic geosystem formation and functioning. The geosystem diversity across the ridge reflects a complex mosaic of environmental conditions, shaped by variations in slope steepness and exposure within a highly dissected mountainous relief, coupled with cryogenic and slope processes and a semi-arid climate. Detailed route descriptions, supplemented by photographic documentation, were conducted along several corridors – from the lakeshore through foothill inclined plains, ascending southward along the ridge to the high-mountain belt's base, then following the ridge crest, and finally descending northward into Krestovskaya Bay. For the proposed trail corridor, a 1:50,000 landscape-typological map was compiled, identifying 43 distinct topographic landscape types within a 61 km² area. This foundational map serves as the basis for derivative assessments of geosystem stability and disturbance, providing critical support for sustainable trail design and environmental preservation efforts.

Keywords: Lake Baikal, Svyatoy Nos Peninsula, topological geosystems, landscape-typological map, ecological trail, remote sensing data

REFERENCES

1. Abalakov A. D., Ovdin E. D., Novikova L. S., et al. (2002). *Territorial organizatsiya Zabaykalskogo Nacionalnogo Parka [Territorial organization of the Zabaikalsky National Park]* Irkutsk: Publishing House of the Institute of Geography SB RAS, 125 p. [in Russian].
2. Tsydyanova M. V. (2013) *Geoinformation mapping of forests in specially protected natural areas: on the example of the Zabaikalsky National Park*. Candidate's thesis. Novosibirsk, 126 p. [in Russian].
3. Kalikhman T. P., Bogdanov V. N., Ogorodnikova L. P. (2013). Atlas of protected areas of Siberia *Irkutsk, Ottisk [Irkutsk, Reprint]*, 384 p. [in Russian].
4. Abalakov A. D., Berseneva V. O., Novikova L. S., Ovdin G. D. (2010) *Geoekologicheskie osnovy organizatsii nauchno-uchebnogo poligona na osobo ohranyaemykh prirodnykh territoriyah [Geoeological foundations for organizing a scientific and training ground in specially protected natural areas]* Irkutsk: Publishing house of Irkutsk state university 147 p. [in Russian].
5. Myadzelets A. V., Luzhkova N. M (2022). Geoinformation support and planning of educational ecotourism for organizing recreational activities in specially protected natural areas of Lake Baikal *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle [Bulletin of Irkutsk state university. Earth science series]*. Vol. 39. P. 81–98. DOI 10.26516/2073-3402.2022.39.81 EDN BRLHMG [in Russian].
6. Trofimova I. E. (2002). Typification and mapping of climates of the Baikal mountain-basin system *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources]*, No. 2. – P. 53–61 [in Russian]
7. Lamakin V. V. (1968) *Neotektonika Bajkal'skoj vpadiny [Neotectonics of the Baikal Basin]*. M.: Nauka [Moscow, Science], 247 p. [in Russian].
8. Belov A. V., Bezrukova E. V. and Sokolova L. P. (2018) The Evolutionary-Genetic Basis of Structural-Cenotic Diversity of Modern Vegetation in Prebaikalia *Geography and Natural Resources, [Geography and Natural Resources]*, Volume 39, P. 46–54. DOI 10.1134/S1875372818010079 EDN UYCIYV [in Russian].

9. Sochava V. B. (1980) *Geograficheskie aspekty sibirskoj tajgi [Geographical aspects of the Siberian taiga]*. Novosibirsk: Nauka [Novosibirsk: Science], 256 p. EDN RZJHJR [in Russian].
10. Braz A. M. , De Oliveira I. J., De Souza L. C., Chavez E. S. (2020) Cluster Analysis for Landscape Typology, *Mercator*, May 2020, Vol. 19(5):1 P. 1–16 DOI 10.4215/rm2020.e19011.
11. Sedykh S. A. (2024) Study and mapping of geosystems of the southern part of the Barguzinsky ridge (Shumilikha river basin) *Vestnik SGUGiT [Vestnik SGUGiT]*. Vol. 29, No. 4, P. 102–116. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-102-116 EDN QLYAOF [in Russian].
12. Sedykh S.A., Bilichenko I.N., Bukharova E.V., Luzhkova N.M. (2017) Landscape and ecological analysis of the ecological trail corridor (Zabaikalsky National Park) *Geology, geography and global energy. Izdatel'skij dom "Astrahanskij universitet" [Publishing house "Astrakhan University"]*. Astrakhan, No. 4 (67). P. 135 – 145 EDN YTFMPPM [in Russian].
13. Bilichenko I. N., Luzhkova N. M., Voropai N. N. (2019). Temporal and spatial localization of forest fires in the territory of the Transbaikal National Park // *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle [Bulletin of the Irkutsk State University. Earth Sciences Series]*. Vol. 29. P. 39–52. DOI 10.26516/2073-3402.2019.29.39 EDN VOTRHA [in Russian].
- 14 Tyulina L. N. (1975) *Vlazhnyj pribajkal'skij tip poyasnosti [Wet Baikal type of zonation]*. Novosibirsk: Nauka [Novosibirsk: Science], 319 p. [in Russian].

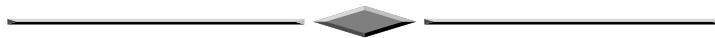
Author details

Sergey A. Sedykh – Ph. D., Senior Researcher.

Received 12.02.2025

© S. A. Sedykh, 2025

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ



УДК 004.932.2:347.214.2

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-109-116

Методологические принципы трехмерной идентификации объектов недвижимости

Д. А. Гура^{1,2}

¹ Кубанский государственный технологический университет,
г. Краснодар, Российская Федерация

² Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Российская Федерация
e-mail: gda-kuban@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются методологические принципы трехмерной идентификации объектов недвижимости. Цель исследования заключается в формировании системы принципов, обеспечивающих формирование 3D-учета в России. На основе анализа действующего законодательства и международного опыта выделены пять ключевых принципов, позволяющих актуализировать, обновлять, проверять, систематизировать пространственную кадастровую информацию, а также использовать научно обоснованные решения в системе управления объектами недвижимости. Теоретически обоснован каждый из принципов и определено их значение для поэтапного перехода от 2D- к 3D-кадастру. В результате проведенного исследования была разработана концептуальная система из пяти взаимосвязанных методологических принципов, лежащих в основе формирования трехмерного кадастра объектов недвижимости. Центральным элементом этой системы является принцип системности, обеспечивающий целостный подход к ведению кадастра, при котором пространственные, атрибутивные и правовые характеристики объектов интегрируются в единую информационную модель.

Ключевые слова: 3D-кадастр, трехмерный кадастровый учет, информационная модель, лазерное сканирование, объекты недвижимости, развитие территории

Для цитирования:

Гура Д. А. Методологические принципы трехмерной идентификации объектов недвижимости // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 109–116. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-109-116

Введение

На протяжении последних нескольких лет в научных публикациях наблюдается тенденция к изучению проблем организации 3D-кадастра [1, 2]. Трехмерное отображение объектов недвижимости для целей кадастрового учета является перспективным направлением исследования. Однако на данный момент остается открытым вопрос корректного структури-

рования геопро пространственной информации в трехмерном кадастре [3–6]. Проблема организации 3D-кадастра связана с отсутствием подробно разработанной нормативной базы [7]. Несмотря на наличие отдельных положений в законодательстве, таких как упоминание пространственного описания объектов в федеральном законе № 221-ФЗ «О кадастровой деятельности» и возможности включения 3D-моделей в состав технического плана по запросу

заявителя, до сих пор отсутствуют единые сводные правила и стандарты, определяющие порядок формирования, ведения и использования трехмерного кадастра [8, 9]. В условиях недостаточности информации о наполнении трехмерного кадастра становится очевидным, что для дальнейшего его развития необходима разработка не только технических и технологических стандартов, но и концептуальных основ, которые будут определять основные подходы к созданию, ведению и использованию трехмерных данных, а также опираться на четко сформулированные принципы [10].

Цель исследования заключается в разработке единых принципов формирования 3D-кадастра для трехмерной идентификации объектов недвижимости. Для ее достижения необходимо решить следующие научные задачи:

- 1) сформировать основные методологические принципы ведения трехмерного кадастра;
- 2) проанализировать значимость каждого принципа для геопространственного обоснования ведения 3D-кадастра;
- 3) предложить апробацию принципов.

Материалы и методы

Предложены пять ключевых методологических принципов для трехмерной идентификации объектов недвижимости, которые должны быть заложены для формирования и реализации современного кадастра недвижимости:

- принцип актуализации кадастровой информации об объектах недвижимости;
- принцип соответствия геометрических характеристик пространственной информации;
- принцип непрерывности обновления кадастровых данных;
- принцип системности;
- принцип научно обоснованных решений для управления объектами недвижимости.

Принцип актуализации кадастровой информации об объектах недвижимости заключается в обеспечении своевременного обновления кадастровых сведений с приме-

нием новейших технологий сбора и обработки пространственных данных. Принцип обеспечивает актуальность и достоверность информации о недвижимости, что особенно важно в условиях стремительно меняющейся городской среды.

Реализация принципа опирается на современные методики сбора геодезической информации и вычислительные алгоритмы с применением технологии машинного обучения, позволяющие получать точные 3D-данные об объектах недвижимости. Например, лазерное сканирование помогает создавать высокоточные трехмерные модели объектов со всеми необходимыми атрибутивными данными, существенно упрощая их учет и идентификацию. Использование методов фотограмметрии, лазерного сканирования и искусственного интеллекта в трехмерной системе отображения объектов недвижимости на сегодняшний день позволяет оперативно получать высокоточные 3D-наборы данных, которые возможно обработать с помощью интеллектуальных алгоритмов анализа геопространственной информации.

В совокупности методологический принцип актуализации кадастровой информации об объектах недвижимости повышает оперативность и точность обработки кадастровой информации, создавая основу для надежного учета недвижимости в пространстве. Применение современных измерительных технологий при сборе кадастровой информации и ее математическая обработка для трехмерной идентификации объектов недвижимости позволяет получить актуальные кадастровые данные для внесения сведений в реестры (рис. 1).



Рис. 1. Схема принципа актуализации кадастровой информации

Принцип соответствия геометрических характеристик пространственной информации требует отображения фактических геометрических параметров объектов недвижимости. Все координаты, размеры, площади и объемы, зафиксированные в кадастре, должны быть точно привязаны к реальным границам и форме объектов.

Выполнение данного принципа гарантирует исключение расхождения между информационной моделью и существующим объектом недвижимости. В современных 3D-кадастровых моделях каждый объект недвижимости представляется в виде замкнутого объемного полигона с четко определенными границами и высотными параметрами, соответствующими его действительному положению в пространстве. Геометрическое соответствие обеспечивает правильность идентификации недвижимости, исключает наложение прав на одно и то же пространство и создает условия для точного расчета объемных характеристик.

Таким образом, соблюдение принципа геометрического соответствия повышает надежность кадастровых сведений в трехмерном формате. Обработанная информация об объектах недвижимости должна соответствовать своим фактическим геометрическим параметрам с учетом нормативной точности (рис. 2).



Рис. 2. Схема принципа соответствия геометрических характеристик пространственной информации

Принцип непрерывности обновления кадастровых данных устанавливает необходимость постоянного мониторинга состояния объектов недвижимости и оперативного внесения изменений в кадастр недвижимости.

Фактически формируется 4D-кадастр, где четвертым измерением выступает время, позволяющее фиксировать изменение объектов в динамике. Непрерывное обновление гарантирует, что все изменения – возведение новых этажей, реконструкция, снос или изменение границ – должны своевременно фиксироваться и отображаться в информационной системе. В данном исследовании под информационной системой понимается разрабатываемый модуль для НСПД трехмерной идентификации объектов недвижимости. Принцип непрерывности обновления требует минимальной задержки между произошедшим изменением и его регистрацией, т. е. данные должны всегда соответствовать действительной ситуации на местности. Для этого внедряются автоматизированные методы обнаружения изменений у объектов недвижимости во времени. Например, сравнение облаков точек, снятых в разные промежутки времени (по данным воздушного лазерного сканирования и методов фотограмметрии) для выявления новых построек или изменений в ранее учтенных объектах. Добавление архивных данных существенно расширяет возможности анализа. Органы государственной регистрации и градостроительного планирования могут отслеживать динамику развития городов и поселений, получать статистику изменения использования земель и застройки, вести исторический архив и мониторинг объектов культурного наследия.

Таким образом, принцип непрерывного обновления повышает актуальность и ценность кадастровой системы, позволяя ей отражать не только пространственные, но и временные аспекты информации об объектах недвижимости (рис. 3).



Рис. 3. Схема принципа непрерывности обновления кадастровых данных

Принцип системности предполагает, что формирование 3D-кадастра должно вестись на основе целостной, структурированной информационной модели, учитывающей физические характеристики объектов и позволяющей проводить комплексный анализ данных.

В отличие от фрагментарного подхода системный подход требует интеграции разнородных сведений (геометрия, атрибуты, правовые данные) в единую модель. В 3D-кадастре важно связать геометрическое описание объекта с его физическими свойствами и правовыми характеристиками. Системный подход подразумевает использование открытых обменных форматов и стандартов для всех компонентов модели, что облегчает обмен данными и совместный анализ.

Таким образом, принцип системного подхода обеспечивает структурирование кадастровых данных в едином формате и создает основу для комплексного анализа полноты сведений и структурирования информации об объектах недвижимости с учетом физических параметров (границы, геометрия в 3D) (рис. 4).

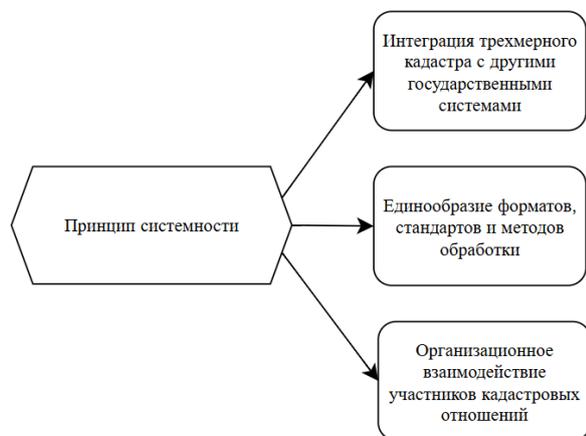


Рис. 4. Схема принципа системности

Принцип формирования научно обоснованных управленческих решений базируется на научно обоснованном анализе данных трехмерного кадастра, используемого при разработке планировочных и управленческих решений.

Городское планирование будет опираться на структурированную информацию, которая будет непрерывно обновляться в трехмерном

кадастре. Прогнозирование и моделирование органами власти различных сценариев развития городской территории сможет обеспечить эффективную и сбалансированную организацию существующей и планируемой городской инфраструктуры. Трехмерный кадастр облегчает контроль за соблюдением градостроительных норм и правовых режимов. В традиционном 2D-учете трудно отследить вертикальные нарушения. 3D-кадастр же фиксирует высотные характеристики объектов, позволяя выявлять отклонения от разрешенных норм и предотвращать нарушения, в том числе несоблюдение ранее задекларированной этажности или нецелевое использование участка (рис. 5).

Таким образом, принцип формирования научно обоснованных управленческих решений позволит создать систему поддержки принятия решений для территориального образования на основе трехмерной идентификации объектов недвижимости, выполнить интеллектуальный анализ данных и предложить управленческие решения для формирования 3D-кадастра.

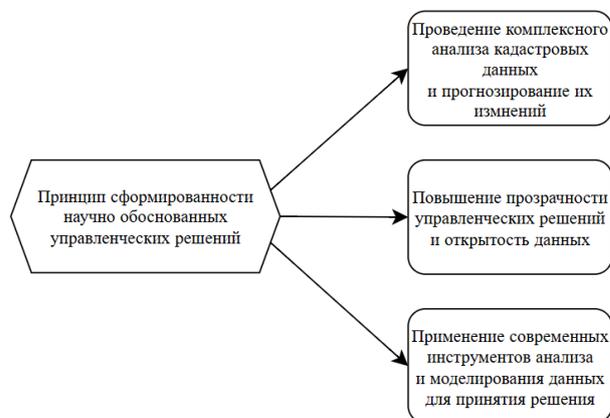


Рис. 5. Схема принципа сформированности научно обоснованных управленческих решений

Формирование 3D-кадастра должно опираться на пять взаимосвязанных принципов. В совокупности они обеспечат достоверность и актуальность информации, целостность и совместимость базы ЕГРН, трансформируют пространственную информацию в дей-

ственный инструмент градостроительного и земельного планирования.

Система методологических принципов формирования трехмерного кадастра основывается на принципе системности, который обеспечивает целостный подход к структурированию пространственной информации об объектах недвижимости. Далее логически исходят три взаимосвязанных методологических принципа: актуализации кадастровой информации об объектах недвижимости, соответствия геометрических характеристик пространственной информации и непрерывности обновления кадастровых данных. Действуя в единой системе, они формируют основу для реализации завершающего принципа – сформированности научно обоснованных управленческих решений. Именно он обеспечивает применение трехмерного кадастра в управлении территорией, проектировании, планировании и правовом регулировании. Таким образом, представленная система принципов обеспечивает концептуальную и технологическую базу для полноценной реализации 3D-кадастра недвижимости в современных условиях.

Результаты и обсуждения

В результате проведенного исследования были предложены пять взаимосвязанных методологических принципов, лежащих в основе формирования трехмерного кадастра объектов недвижимости. Центральным элементом этой системы является принцип системности, обеспечивающий целостный подход к ведению кадастра, при котором пространственные, атрибутивные и правовые характеристики объектов интегрируются в единую информационную модель. Он задает рамки структурированного подхода и логически объединяет остальные положения системы.

Разработанная совокупность принципов представляет теоретическую базу для разработки технологических решений трехмерной

идентификации объектов недвижимости с применением методов искусственного интеллекта [11, 12]. Для реализации технологических решений необходимо разработать и адаптировать специальные нейронные сети, которые в результате обучения на заранее подготовленных данных (размеченных) смогут извлекать из неструктурированного облака точек информацию об объектах недвижимости и обрабатывать ее для упорядочивания. Применение методов искусственного интеллекта в кадастре недвижимости позволит существенно улучшить и в автоматизированном режиме проверять объект недвижимости на предмет достоверности данных, минимизируя тем самым реестровые ошибки. Технологические решения с внедрением нейросетей в кадастре недвижимости создадут предпосылки к автоматической трехмерной идентификации объектов недвижимости.

Заключение

Подводя итог выполненного исследования, можно сделать вывод, о том, что реализация предложенных пяти методологических принципов трехмерной идентификации объектов недвижимости позволит сформировать наиболее эффективную и правильную структуру формирования 3D-кадастра. С помощью объемных пространственных данных появится возможность наполнить ЕГРН трехмерными данными, которые являются гораздо более информативными, чем их двухмерное отображение. Система принципов должна лечь в основу разработки отечественного программного обеспечения, позволяющего с применением методов интеллектуального анализа данных точек лазерного сканирования и ортофотоснимков выполнять трехмерную идентификацию объектов недвижимости для целей формирования 3D-кадастра объектов недвижимости с возможностью интеграции в виде отдельного модуля в Национальную систему пространственных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвиненко М. В., Илюшин Т. В., Сизов А. П., Атаманов С. А., Григорьев С. А. Мониторинг публикационной активности по проблеме «3D-кадастр, трехмерный кадастр недви-

мости» за период 2021 – начало 2024 гг. // Мониторинг. Наука и технологии. – 2024. – Т. 1 (59). – С. 106–111. – DOI 10.25714/MNT.2024.59.015. – EDN ZLVALG.

2. Мирошникова В., Гиниятов И. А. Анализ современного состояния 3D-кадастра недвижимости в России и за рубежом // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сборник материалов VII Национальной научно-практической конференции с международным участием, 21–24 ноября 2023 г., Новосибирск. В 3 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. Ч. 2. – С. 196–202. – DOI 10.33764/2687-041X-2024-2-196-202. – EDN KWASLV.

3. Ключниченко В. Н., Ивчатова Н. С. Особенности формирования кадастра в России // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 198–208. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-198-208. – EDN SEMOET.

4. Гура Д. А. Основы формирования трехмерного кадастра в России // Строительство и землеустройство: проблемы и перспективы развития : сборник трудов III Международной научно-практической конференции. – Тверь : ТГТУ, 2018. – С. 88–91. – EDN VVOKOI.

5. Чернова У. Ю. Формирование трехмерного кадастра недвижимости в России // Дневник науки. – 2021. – № 2 (50). – С. 39–44. – EDN SGFZEB.

6. Брылев И. С., Бударова В. А. Применение комплекса цифровых технологий для формирования трехмерного объекта недвижимости городского пространства // Геодезия и картография. – 2024. – Т. 85, № 3. – С. 42–49. – DOI 0.22389/0016-7126-2024-1005-3-42-49. – EDN VJNNDM.

7. Аврунев Е. И., Гиниятов А. И. Разработка системы нормативных допусков при создании геодезического обоснования для выполнения кадастровых работ в формате 3D // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 3. – С. 16–26. – DOI 10.30533/GiA-2023-020. – EDN OXEPLK.

8. Кучма О. А. Правовые аспекты использования трехмерных кадастровых систем в Российской Федерации // Молодежь и наука: шаг к успеху : сборник научных статей 7-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. – Курск : СКФУ, 2024. – С. 156–161. – EDN GIUYOQ.

9. Атаманов С. А., Григорьев С. А., Косаруков З. С., Чуприн М. С. Проблема понятия точности в кадастре недвижимости // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 2. – С. 65–77. – DOI 0.30533/GiA-2023-010. – EDN ITANIV.

10. Аврунев Е. И., Гатина Н. В., Козина М. В. Разработка принципов для 3D-моделирования линейных сооружений и инженерной инфраструктуры территориального образования // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 107–115. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-1-107-115. – EDN: NXRAZP.

11. Дьяченко Р. А., Гура Д. А., Осенняя А. В., Самарин С. В., Беспятчук Д. А. Разработка структуры структуры информационной системы геопространственных данных для решения задач территориального планирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2024. – Т. 68, № 4. – С. 87–99. – DOI 10.30533/GiA-2024-013. – EDN YQASPD.

12. Гура Д. А. Применение технологий искусственного интеллекта в кадастре и геодезии: современное состояние и перспективы // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 126–136. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-126-136. – EDN OWXXIV.

Об авторах

Гура Дмитрий Андреевич – кандидат технических наук, доцент.

Получено 24.06.2025

© Д. А. Гура, 2025

Methodological Approaches to Three-Dimensional Identification and Registration of Real Estate Objects

D. A. Gura^{1,2}✉

¹Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation

²Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

e-mail: gda-kuban@mail.ru

Abstract. The methodological principles underpinning the three-dimensional identification of real estate objects are examined in the study. The primary objective is to establish a comprehensive system of principles that facilitate the development and implementation of 3D cadastral accounting in Russia. Through a rigorous analysis of relevant national legislation alongside international best practices, five fundamental principles were delineated. The principles enable the systematic updating, verification, and organization of spatial cadastral data, while promoting the application of scientifically grounded methodologies in real estate management. Each principle is theoretically substantiated, with an emphasis on its pivotal role in the progressive transition from traditional 2D to advanced 3D cadastre. Consequently, this study proposes a conceptual framework comprising five interrelated methodological principles that form the foundation for a 3D cadastre. At the core of this framework lies the principle of consistency, which ensures an integrated approach to cadastre maintenance by harmonizing spatial, attributive, and legal data within a unified information model.

Keywords: 3D cadastre, three-dimensional cadastral registration, information model, laser scanning, real estate objects, development of the territory

REFERENCE

1. Litvinenko M. V., Ilyushin T. V., Sizov A. P., Atamanov S. A., Grigor'ev S. A. (2024). Monitoring of publication activity on the issue of "3D cadastre, three-dimensional real estate cadastre" for the period 2021 – early 2024. *Monitoring. Nauka i tekhnologii [Monitoring. Science and Technology]*, 1 (59), 106–111. DOI 10.25714/MNT.2024.59.015 EDN ZLVALG [in Russian].
2. Miroshnikova V., Giniyatov I. A. (2024). Analysis of the current state of the 3D real estate cadastre in Russia and abroad. *Regulirovanie zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, otsenka nedvizhimosti, ekologii, tekhnologicheskie resheniya [Regulation of land and property relations in Russia: legal and geospatial support, real estate assessment, ecology, technological solutions]* (pp. 196–202). DOI 10.33764/2687-041X-2024-2-196-202 EDN KWASLV [in Russian].
3. Klyushnichenko V. N., Ivchatova N. S. (2020). Peculiarities of the formation of the cadastre in Russia *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 198–208. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-198-208 EDN SEMOET [in Russian].
4. Gura D. A. (2018). Basics of the formation of a three-dimensional cadastre in Russia. *Stroitel'stvo i zemleuystvo: problemy i perspektivy razvitiya: sbornik trudov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Construction and land management: problems and development prospects: collection of papers of the III International scientific and practical conference]* (pp. 88–91) EDN VVOKOI [in Russian].
5. Chernova U. Yu. (2021). Formation of a three-dimensional real estate cadastre in Russia *Dnevnik nauki [Science Diary]*, 2 (50), 39–44 EDN SGFZEB [in Russian].
6. Brylev I. S., Budarova V. A. (2024). Application of a complex of digital technologies for the formation of a three-dimensional real estate object of urban space *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*, 85 (3), 42–49. DOI 0.22389/0016-7126-2024-1005-3-42-49 EDN VJNNDM [in Russian].

7. Avrunev E. I., Giniyatov A. I. (2023). Development of a system of regulatory tolerances for the creation of a geodetic justification for the performance of cadastral works in 3D format *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"emka*. [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography], 67(3), 16–26. DOI 10.30533/GiA-2023-020. EDN OXEPLK [in Russian].

8. Kuchma O. A. (2024). Legal aspects of the use of three-dimensional cadastral systems in the Russian Federation. *Pravovye aspekty ispol'zovaniya trekhmernykh kadastrykh sistem v Rossiyskoy Federatsii* [Youth and Science: A Step Towards Success: A Collection of Scientific Articles from the 7th All-Russian Scientific Conference on Promising Developments of Young Scientists] (pp. 156–161). Kursk: SKFU. EDN GIUYOQ [in Russian].

9. Atamanov S. A., Grigor'ev S. A., Kosarukov Z. S., Chuprin M. S. (2023). The problem of the concept of accuracy in the real estate cadastre *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"emka* [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography], 67(2), 65–77. DOI 10.30533/GiA-2023-010 EDN ITANIV [in Russian].

10. Avrunev E. I., Gatina N. V., Kozina M. V. (2022). Development of principles for 3D modeling of linear structures and engineering infrastructure of a territorial entity *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 27(1), 107–115. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-1-107-115 EDN: NXRAZP [in Russian].

11. Dyachenko R. A., Gura D. A., Osennyaya A. V., Samarin S. V., Bespyatchuk D.A. (2024). Development of the structure of the information system of geospatial data for solving territorial planning problems *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"emka* [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography], 68(4), 87–99. DOI 10.30533/GiA-2024-013 EDN YQASPD [in Russian].

12. Gura D. A. (2025). Application of artificial intelligence technologies in cadastre and geodesy: current state and prospects *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 30(1), 126–136. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-126-136 EDN OWXXIV [in Russian].

Author details

Dmitry A. Gura – Ph. D., Associate Professor.

Received 24.06.2025

© D. A. Gura, 2025

УДК 004.925.8:332.334

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-117-130

Построение трехмерных моделей объектов магистрального трубопровода по данным лазерного сканирования для формирования границы отвода земель

Д. В. Долгополов¹, Т. И. Кузнецов¹, А. Г. Ахундов¹, А. И. Барышев¹, В. А. Мелкий²✉

¹ Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта (ООО «НИИ Транснефть»), г. Москва, Российская Федерация

² Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Российская Федерация

e-mail: vamelkiy@mail.ru

Аннотация. Цель настоящего исследования – выбор и формализация методических подходов к построению трехмерных моделей объектов магистральных трубопроводов по данным лазерного сканирования для формирования границы отвода земель. В исследовании использованы методы геопространственного моделирования, которые обеспечили получение параметров объектов мониторинга трубопроводной системы по данным лазерного сканирования. Сеть магистральных трубопроводов (МТ) образует сложную природно-техническую систему, в которой участки имеют значительную протяженность и подвержены воздействию разнообразных природных и техногенных процессов, что осложняет выполнение наблюдений как за объектами системы, так и за динамикой процессов, влияющих на ее состояние. При организации геотехнического мониторинга объектов трубопроводных систем следует использовать геоинформационное моделирование, которое формируется в первую очередь при условии соблюдения принципов единства измерений и динамичности. В статье рассматриваются вопросы уровня детализации трехмерных геоинформационных моделей, создаваемых по данным лазерного сканирования. Предложены методические и технологические подходы к построению трехмерных моделей объектов магистральных трубопроводов на основе базисных элементов моделирования и иерархических классификаторов предметной области, также рассматривается возможность автоматизации построения трехмерных моделей объектов мониторинга по данным лазерного сканирования. Модели, получаемые при использовании предлагаемого подхода, обладают математической точностью конструктивных элементов, что обеспечивает высокую скорость их загрузки и работы как в настольных приложениях, так и в корпоративных web-порталах, а также для использования при формировании границы отвода земель.

Ключевые слова: землепользование, трехмерная цифровая модель, единое геоинформационное пространство, лазерное сканирование, уровень детализации, магистральный трубопровод, геотехнический мониторинг

Для цитирования:

Долгополов Д. В., Кузнецов Т. И., Ахундов А. Г., Барышев А. И., Мелкий В. А. Построение трехмерных моделей объектов магистрального трубопровода по данным лазерного сканирования для формирования границы отвода земель // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 117–130. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-117-130

Введение

Технологии дистанционного зондирования (ДЗ) в последнее время стремительно раз-

виваются и используются для решения большого перечня задач в рамках обеспечения надежной эксплуатации магистральных трубопроводов, в том числе для формирования

границы отвода земель. Использование данных ДЗ при построении геопространственных моделей дает возможность определить параметры, характеризующие текущее состояние объектов трубопроводной системы, необходимые для осуществления контроля качества при выполнении строительных работ и обеспечения информацией о соответствии параметров построенного или реконструированного МТ эксплуатационным требованиям, а также для анализа влияния трубопровода на природную среду и протекающие процессы и формирование границы отвода земель. Разработанные и апробированные методы геопространственного моделирования позволяют получить актуальную информацию об измеряемых параметрах, свидетельствующих о состоянии объектов мониторинга в составе трубопроводной системы, определить количественные характеристики, указывающие на определенные стадии динамических природно-техногенных процессов, влияющих на объекты инфраструктуры, с целью прогноза их дальнейшего развития и предотвращения возможных аварийных ситуаций [1].

Современные методы ДЗ и геоинформационного моделирования обладают целым рядом достоинств: обеспечивают высокий уровень детализации получаемых данных, оперативность осуществляемого мониторинга, большую скорость обработки данных и возможность ее автоматизации, а также позволяют производить съемки объектов в труднодоступных местах [1]. Технологии ДЗ трубопроводных систем постоянно совершенствуются, в том числе путем разработки методик проведения обследований с использованием беспилотных авиационных систем и лазерных сканеров наземного и воздушного базирования.

Постановка проблемы

Настоящее исследование проводилось с целью выявления и формализации методологических подходов к трехмерному геоинформационному моделированию объектов магистральных трубопроводов по данным лазерного сканирования. Основой методологического подхода при массовом сборе инфор-

мации может служить формирование базисных трехмерных цифровых моделей с различным уровнем детализации или проработки [2], использующих данные лазерного сканирования, в том числе полученные с беспилотных летательных аппаратов (рис. 1).



Рис. 1. 3D-модель резервуара для хранения топлива, построенная по данным лазерного сканирования

По данным лазерного сканирования строятся трехмерные цифровые модели объектов, рельефа и местности, которые являются основой для создания цифровых двойников объектов в коридоре трассы МТ и применяются для анализа ситуации при решении различных производственных задач в процессе строительства и обслуживания трубопроводных систем [1]:

- при проведении мониторинга планово-высотного положения трубопроводов;
- для определения планово-высотного положения объектов нефтеперекачивающих станций с использованием трехмерных цифровых моделей сооружений;
- при пользовании технологиями виртуальной и дополненной реальности для осуществления строительного контроля, выполнения авторского надзора на объектах строительства и реконструкции [3];
- при выполнении сбора и обработки информации об объектах капитального строительства на всех их жизненных этапах для координации входных данных, организации совместного производства и хранения данных на всех этапах жизненного цикла в соответствии с ГОСТ (ГОСТ Р 57563-2017/ISO/TS 12911:2012 Моделирование информационное в строитель-

стве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. – М. : Стандартинформ, 2017. – 33 с. Применение установлено: Федеральным законом от 29.06.2015 № 162-ФЗ. – <https://docs.cntd.ru/document/1200146763>. – Текст : электронный) [4];

– в целях анализа текущего состояния строительства и выработки компенсирующих мероприятий в соответствии с СП 333.1325800 (СП 333.1325800 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. – М. : Стандартинформ, 2021. – 189 с. Применение установлено: требованиями Федеральных законов от 27.12.2002 № 184-ФЗ и от 30.12.2009 № 384-ФЗ. – <https://docs.cntd.ru/document/573514520>. – Текст : электронный);

– для осуществления контроля объемов производимых земляных работ, соблюдения габаритов и охранных зон при подведении инженерных коммуникаций в соответствии с СП 333.1325800 с учетом их фактического местоположения [5];

– для проведения проверок производимых строительных работ на предмет соответствия проектной документации, требованиям технических регламентов к строительству, реконструкции объектов, а также соответствия нормативов, предусмотренных СП 471.1325800.2019 (СП 471.1325800.2019 Информационное моделирование в строительстве. Контроль качества производства строительных работ. – М., 2019. – 63 с. Применение установлено: требованиями Федеральных законов от 27.12.2002 № 184-ФЗ и от 30.12.2009 № 384-ФЗ. – <https://docs.cntd.ru/document/564543308>. – Текст : электронный);

– для наполнения единой системы идентификации в рамках строительного производства, эксплуатации, обеспечивающей выполнение задач логистики, хранения, учета, расходования, освоения и утилизации материалов, изделий и оборудования соответствии с СП 471.1325800;

– в целях проверки соответствия фактических геометрических параметров зданий, сооружений, инженерных сетей строящегося объекта проектным параметрам в соответствии с СП 471.1325800 [4];

– для проведения реверс-инжиниринга – уточнения габаритов, конфигурации и функций объектов и их элементов для технического обслуживания или модернизации (при отсутствии конструкторской документации);

– для обеспечения информацией при формировании цифровых двойников;

– для определения параметров, необходимых для оценки состояния основных конструктивных показателей, обеспечивающих надежность и безопасность зданий и сооружений, производственно-технических комплексов, инженерных сетей, а также их соответствия требованиям технических регламентов и указаниям проектной документации в соответствии с СП 333.1325800;

– для выявления дефектов в конструкциях зданий и сооружений, не определенных в ходе проведения визуальных осмотров [6];

– картографирование объектов трубопроводной системы и прилегающей территории (коридора трассы);

– выявление и картографирование экзогенных геологических процессов в коридоре трассы трубопровода, оценка степени опасности и динамики природных процессов;

– мероприятий по формированию границ отвода земель.

Таким образом, трехмерные геоинформационные модели объектов трубопроводных систем востребованы для широкого круга задач.

Результаты

Методические основы построения трехмерных моделей объектов магистрального трубопровода по данным лазерного сканирования. Предлагаемые методические подходы к проведению трехмерного геоинформационного моделирования объектов природно-технических систем (ПТС) трубопроводного транспорта основаны на данных лазерного сканирования, получаемых в процессе мониторинга трасс магистральных трубопроводов. Для моделирования протяженных систем магистрального трубопровода, комплексного анализа данных за разные периоды мониторинга необходимо сформировать единое координатно-временное пространство. Формирование единого координатно-временного простран-

ства включает ряд мероприятий по формированию корпоративной системы координат, развитию опорной геодезической сети, созданию необходимого планово-высотного обоснования и размещению на трассе устройств определения высоты трубопровода подземной прокладки [7].

Эффективное функционирование единого координатно-временного пространства в геоинформационной модели, которое создается с целью сбора и обработки информации, необходимой для принятия управленческих решений, обеспечивается неукоснительным соблюдением принципов иденти-

фикации и интерпретируемости (рис. 2) [8]. Принцип идентификации позволяет определить способ распознавания объекта мониторинга в полученном при съемках облаке точек и его последующее моделирование. Принцип интерпретируемости заключается в предоставлении возможности выявления вполне определенной стадии состояния природно-технической системы и необходимой информации для оценки степени опасности протекающих процессов, реализации мероприятий землепользования в сформированном едином координатно-временном пространстве [8, 9].

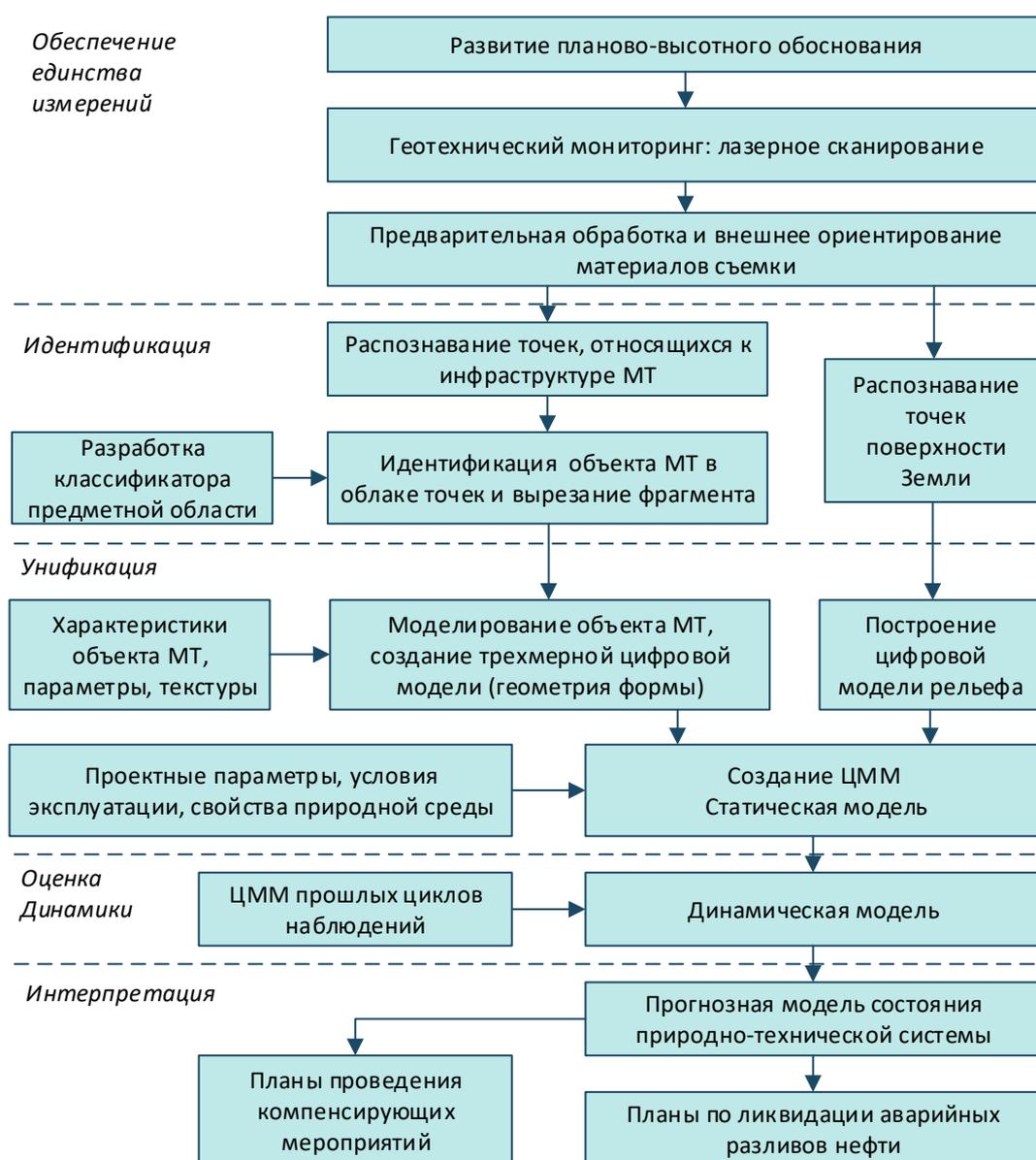


Рис. 2. Лазерное сканирование и геоинформационное моделирование как часть системы геотехнического мониторинга магистрального трубопровода (по [8] с дополнениями)

В процессе строительства и эксплуатации ПТС происходит постоянное взаимодействие технических узлов, агрегатов и иных инфраструктурных составляющих с компонентами окружающей среды: на МТ воздействуют геологические, гидрологические, атмосферные процессы, труба в свою очередь отдает тепло мерзлым грунтам и приводит к их оттаиванию, изменяет свое положение за счет линейного расширения или сжатия при изменении температуры. Трубопроводные системы претерпевают постоянные изменения, поэтому важным базовым принципом организации эксплуатации

объектов МТ и их инфраструктуры является принцип динамичности. Не менее важным является принцип унификации, которым руководствуются в процессе трехмерного геоинформационного моделирования магистральных трубопроводов. Его суть заключается в создании базисных единиц – элементов моделирования инфраструктуры трубопровода (унификации объектов моделирования) [8]. Такой подход предполагает обязательную классификацию объектов моделирования, которая часто является иерархической и наиболее показательной для площадочных объектов МТ (рис. 3).

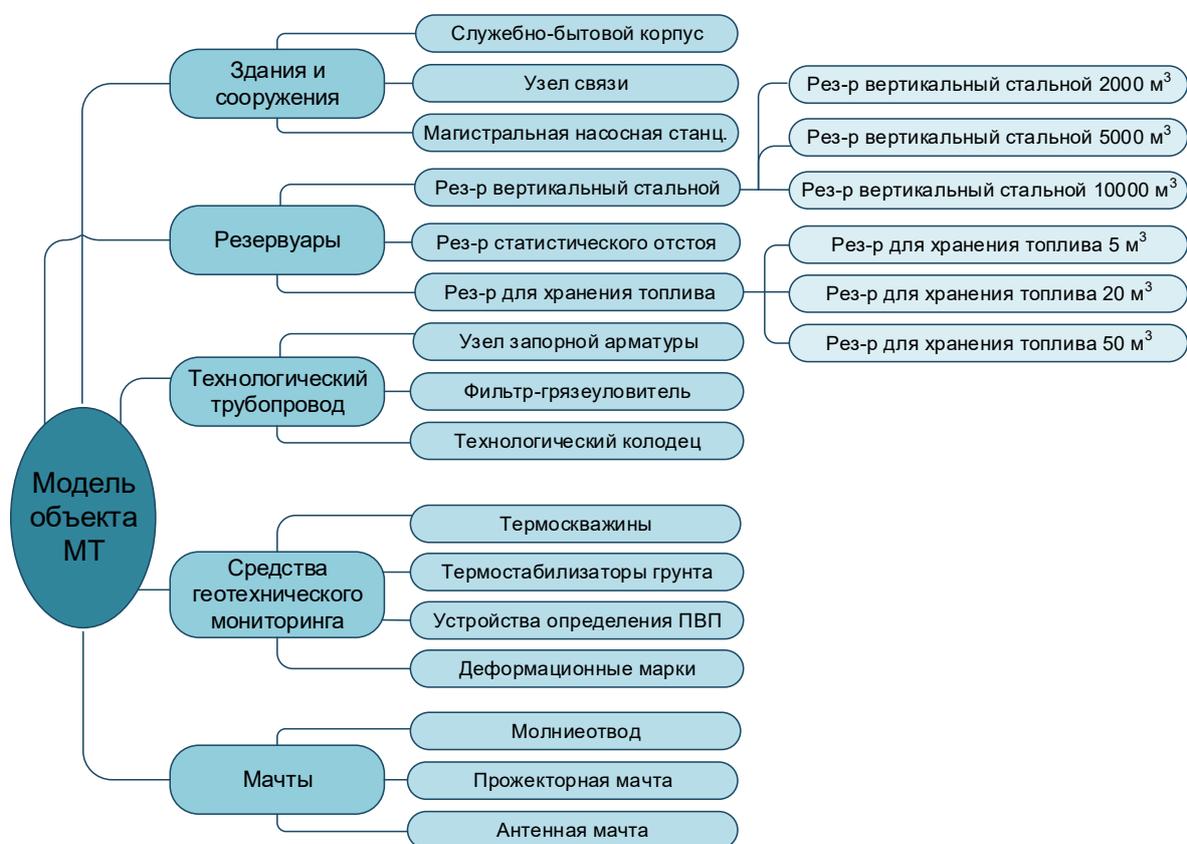


Рис. 3. Фрагмент иерархического классификатора для площадочных объектов магистрального трубопровода (по [10] с дополнениями)

Обсуждение

Принцип интерпретируемости предполагает однозначное определение технологического объекта в геопространственной модели с необходимыми параметрами и характеристиками. В то же время избыточная детализация увеличивает «вес» геопространственных моделей, что повышает требования к про-

граммным ресурсам при работе с 3D-сценами в специализированных ГИС [11–13]. Таким образом, для решения различных производственных задач необходимо учитывать различные требования к уровням детализации геопространственных моделей, в том числе требования к детализации геопространственных моделей в разрезе производственных задач (табл. 1).

Таблица 1

Уровни детализации 3D-моделей на разном этапе жизненного цикла объектов магистрального трубопровода в разрезе производственных задач

Этапы жизненного цикла	Производственная задача	Используемые в работе пространственные данные, информация, модели	Уровни детализации 3D-моделей
Предпроектное обследование объекта	Данные о пространственном положении	3D-модели объекта, точки лазерного отражения (ТЛО) объекта, ортофотоплан	LOD 100
Инженерные изыскания	Инженерно-геодезические изыскания	Цифровая модель рельефа (ЦМР), ТЛО, ортофотоплан, инженерно-топографический план	LOD 100-300
Архитектурно-строительное проектирование	Разработка проектной и рабочей документации	ВМ (ТИМ)-модели, твердотельные 3D-модели, ЦМР, ТЛО, ортофотоплан	LOD 400
Строительство и реконструкция объектов МТ	Строительный контроль	Контроль проектного планово-высотного положения (ПВП), объемов работ по цифровой модели местности (ЦММ), 3D-модели, ТЛО, ортофотоплану	LOD 400-500
	Оформление прав на земельные и лесные участки	Рабочая и исполнительная документации с использованием ЦММ, ЦМР, 3D-модели, ТЛО, ортофотоплану	LOD 300-500
Эксплуатация объекта	Контроль геометрических параметров объекта МТ	Геометрические параметры и ПВП зданий и сооружений; радиусы изгиба и перемещения трубных секций, определенные по 3D-модели, ЦМР, ТЛО	LOD 400-500
	Управление активами	Информационные системы с возможностью 3D-визуализации, в том числе 3D-моделей, ЦМР, ТЛО	LOD 100-500
	Обучение персонала	Тренажеры с дополненной реальностью, построенные на базе 3D-моделей, ЦМР, ТЛО	LOD 500
	Моделирование в области промышленной безопасности	3D-модели и ЦМР для моделирования в области промышленной безопасности	LOD 200-500
	Мероприятия по формированию границы отвода земель, ЗОУИТ	Исполнительная документация, построенная с использованием ЦММ, ЦМР, 3D-модели, ТЛО, ортофотоплана	LOD 300-500

Уровень детализации 3D-моделей, или уровень проработки, обозначается как LOD от английского LOD – Level of Development [14]. СП 333.1325800 дает следующее определение LOD: «Набор требований, определяющий полноту проработки элемента цифровой информационной модели. Уровень проработки задает минимальный объем геометрических, пространственных, количественных, а также любых атрибутивных данных, необходимых для решения задач информационного моделирования на конкретной стадии жизненного цикла объекта» (СП 333.1325800 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. – М. : Стандартинформ, 2021. – 189 с. Применение установлено: требованиями Федеральных законов от 27.12.2002 № 184-ФЗ и от 30.12.2009 №

384-ФЗ. – <https://docs.cntd.ru/document/573514-520>. – Текст : электронный).

Методика моделирования предполагает уровень детализации от минимального LOD 100 до максимального LOD 500. На рис. 4 представлен пример трехмерной цифровой модели камеры пуска и приема средств очистки и диагностики (КПП СОД) с уровнем детализации LOD 400.

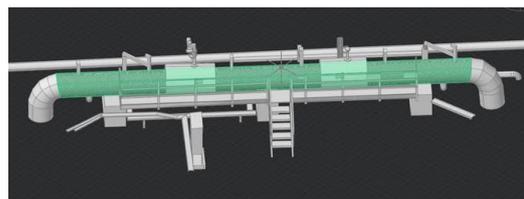
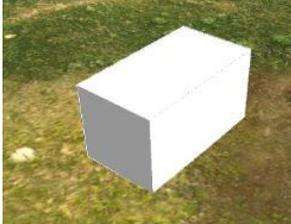
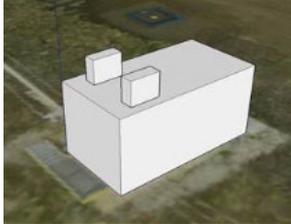
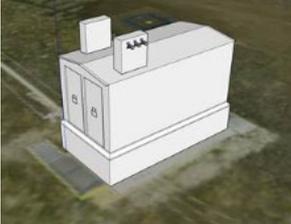


Рис. 4. Трехмерная цифровая модель КПП СОД в программном обеспечении nanoCAD с уровнем детализации LOD 400

Уровни проработки позволяют оптимизировать метод создания 3D-моделей, с достаточным уровнем детализации исходя из их назначения. Пример представления объектов с разным уровнем детализации приведен в табл. 2.

Таблица 2

Уровни детализации трехмерных геоинформационных моделей объектов магистрального трубопровода

Уровень детализации	Внешний вид		Описание геоинформационной модели
LOD 100			Внешний вид: точка, линия, полигон. Положение, граница. Без подземной части технологического трубопровода. Атрибуты: наименование
LOD 200			Внешний вид: 3D-модель в виде геометрического примитива: куб, цилиндр, сфера и т. п. Примерные размеры, положение на местности. Атрибуты: наименование, высота
LOD 300			Внешний вид: 3D-модель в виде нескольких геометрических примитивов (элементов). Точные размеры, пространственное положение. Атрибуты: наименование, высота
LOD 400			Внешний вид: детализированная трехмерная цифровая модель, без текстур. Атрибуты: наименование, высота, номер по генплану, класс технического объекта
LOD 500			Внешний вид: детализированная трехмерная цифровая модель, с текстурой. Атрибуты: наименование, высота, номер по генплану, класс технического объекта

Такой прием может использоваться и при создании нескольких вариантов одного объекта моделирования с разной степенью детализации, которые могут применяться в трехмерной ГИС. Суть приема заключается в отсутствии необходимости отображать высокодетализированные объекты, если в этом нет необходимости. Использование уровней де-

тализации при моделировании геопространства позволяет снизить требования к ресурсам программно-аппаратных комплексов при просмотре трехмерных моделей на экране.

В зависимости от решаемых задач в корпоративных информационных системах 3D-модели объектов МТ должны обладать необходимым уровнем детализации и набором атрибу-

тивной информации. Предлагаемые уровни детализации 3D-моделей объектов МТ соответствуют требованиям СП 333.1325800. Трехмерные модели объектов МТ с разным уровнем детализации могут быть использованы как в существующих, так и в перспективных геоинформационных системах, связанных с отображением трехмерных пространственных данных и семантики [15–17]. При этом уровень детализации 3D-моделей объектов МТ определяется задачами и этапами жизненного цикла объекта.

Метод автоматизированного построения трехмерных моделей

Работа с данными лазерного сканирования включает многочисленные операции, которые используются для решения разнообразных задач моделирования объектов местности, строений, трубопроводных систем и пр. При необходимости измерения объектов съемки сложной формы часто возникают проблемы в интерпретации этих объектов по плоскому изображению «облака точек». В таких случаях снижается эффективность обработки результатов трехмерной лазерной съемки. С целью устранения указанного недостатка А. П. Михайлов и М. Г. Синькова предложили производить наблюдения и измерения результатов трехмерной лазерной съемки по стереопаре изображений «облака точек» [18].

Исследованиям технологий построения 3D-моделей посвящены работы Т. А. Хлебниковой с соавторами. Трехмерные измерительные видеосцены могут быть построены по материалам аэрофотосъемки с использованием технологии фотограмметрического сгущения планового и высотного съемочного обоснования, которое осуществляется путем построения фотограмметрических сетей [19]. Тщательный подбор всех параметров при проектировании съемки блоков позволяет получить достаточную точность как сети в целом, так и последующих продуктов, создаваемых по данным фотограмметрического сгущения рабочего обоснования [20, 21].

Практический опыт создания 3D-моделей объектов МТ по данным лазерного ска-

нирования говорит нам о трудоемкости данных работ, технической сложности сохранения геометрических параметров объектов моделирования, а также низкой скорости отображения построенных моделей в web-порталах. Создание трехмерных моделей объектов МТ в большинстве случаев происходит путем встраивания геометрических примитивов в облако точек вручную. Подгонка геометрических примитивов разделяет облако точек на набор простых геометрических фигур (сфера, куб, цилиндр и др.). При определении местоположения элементов конструкции путем встраивания примитива работает человеческий фактор, что приводит к потере исходной точности данных лазерного сканирования в создаваемых моделях [22]. Для верификации точности построения модели и ее корректировки требуются дополнительные трудозатраты.

Для решения вышеописанных вопросов был разработан алгоритм автоматического трехмерного геоинформационного моделирования по данным лазерного сканирования. Благодаря автоматизированным вычислениям формируются трехмерные примитивы, элементы которых (плоскости, цилиндры и точки их пересечения) создаются по облаку точек математическими методами линейной регрессии и решением систем линейных алгебраических уравнений. В качестве исходных данных используется вырезанное облако точек, содержащее одно здание или сооружение. Вычисления, построение 3D-моделей и сохранение ее в файл выполняется полностью автоматически и занимает в среднем 30 секунд. Автоматизированному моделированию подлежат здания с прямоугольными стенами (рис. 5, а), односкатными или двухскатными крышами, в том числе козырьки крыш, цилиндрические объекты (резервуары) с возможностью моделирования плоской или конической крыши (рис. 5, б). Получаемая модель обладает математической точностью конструктивных элементов, а также минимальным их количеством, что обеспечивает высокую скорость загрузки и работы не только в настольных приложениях, но и в корпоративных web-порталах.

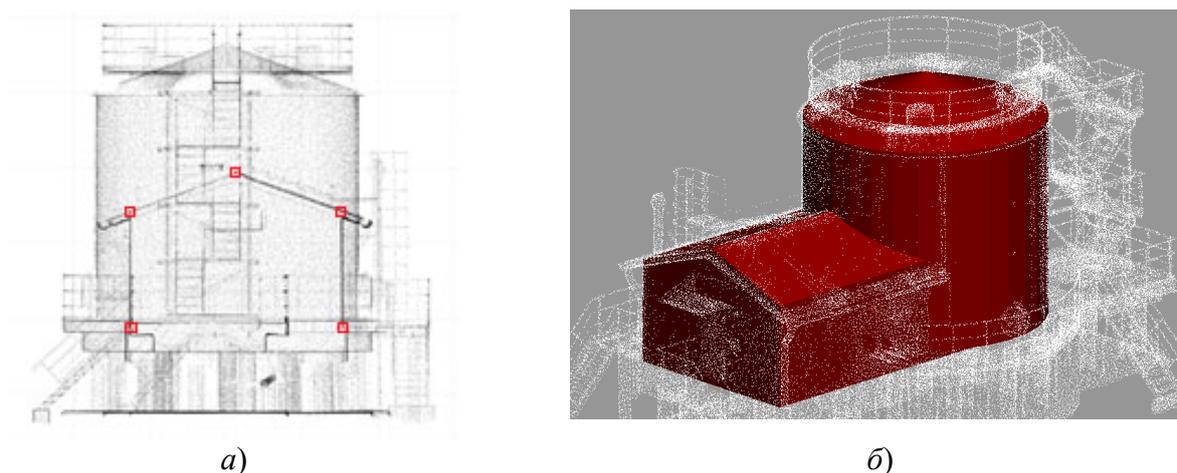


Рис. 5. Трехмерная цифровая модель, построенная по данным лазерного сканирования: а) определение узловых точек; б) модель, построенная по облаку точек

Заключение

Лазерное сканирование, безусловно, наиболее перспективный метод получения данных для создания трехмерных геоинформационных моделей. Вместе с тем следует учитывать, что процесс моделирования объекта достаточно трудоемкий и длительный по времени, именно поэтому мы предлагаем предусмотреть разные уровни детализации.

Автоматизация процесса моделирования по облаку точек может существенно увеличить оперативность построения трехмерных моделей, поэтому это направление исследования представляется особенно интересным. Отдельно следует отметить, что построение моделей высоких уровней детализации может потребовать более плотных облаков точек, полученных в том числе методом наземного лазерного сканирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгополов Д. В. Теоретическое обоснование разработки технологий аэрокосмических исследований для создания геопространственных моделей систем трубопроводного транспорта : дис. ... доктора техн. наук : 1.6.19 / Долгополов Даниил Валентинович – Новосибирск, СГУГиТ, 2023. – 233 с.
2. Майоров А. А., Цветков В. Я., Андреева О. А. Трехмерное геоинформационное моделирование при массовом сборе информации // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2020. – № 2. – С. 229–236. – DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-229-236. – EDN XIKGPD.
3. Тихомиров А. Л., Пирожникова А. П. Разработка информационной модели системы теплоснабжения на различных этапах ее жизненного цикла // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2022. – Т. 1. – № 3. – С. 35–42. – DOI 10.23947/2949-1835-2022-1-3-35-42. – EDN ZTEMYQ.
4. Курбатов В. Л., Римшин В. И., Шубин И. Л., Волкова С. В. Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве : учебное пособие. – М. : АСВ, 2023. – 420 с.
5. Бачурина С. С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 2: Переход к цифровому проектированию и строительству. Методология. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 128 с.
6. Боголюбов С. А., Галиновская Е. А., Кичигин Н. В., Ковалева Е. Л. Комментарий к Градостроительному кодексу Российской Федерации (постатейный). – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : КНОРУС : Проспект, 2016. – 749 с.

7. Воронов А. Г., Чужинин С. Н., Захаров А. А. и др. Устройство определения планово-высотного положения магистрального нефтепровода: Патент на полезную модель RU 182554 U1 Российская Федерация, МПК F17D 5/00. Заявка № 2018118608 от 21.05.2018: опублик. 22.08.2018; патентообладатели: Публичное акционерное общество «Транснефть» (ПАО «Транснефть»), Общество с ограниченной ответственностью «Транснефть – Восток» (ООО «Транснефть – Восток»), Общество с ограниченной ответственностью Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта (ООО «НИИ Транснефть»). – EDN RQPZAP.
8. Долгополов Д. В. Теоретическое обоснование принципов формирования геопространственных моделей трубопроводных систем // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66. – № 5. – С. 87–97. – DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-5-87-97. – EDN RQMIUH.
9. Кузнецов Т. И., Макарычева Е. М., Барышев А. И., Покровская Е. А. Геоинформационные системы объектов магистральных трубопроводов, расположенных в сложных природно-климатических условиях // 16-я Международная конференция и выставка по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ «RAO/CIS Offshore 2023»: Труды, Санкт-Петербург, 26–29 сентября 2023 года. – СПб.: Перо, 2023. – С. 327–329. – EDN VIABCS.
10. Долгополов Д. В. Моделирование объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 5. – С. 43–51. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-995-5-43-51. – EDN JYRXBC.
11. Кузнецов Т. И., Долгополов Д. В. Новые возможности для геотехнического мониторинга трубопроводных систем при использовании ГИС-технологий с 3D-визуализацией // Трубопроводный транспорт – 2017: Тезисы докладов XII Международной учебно-научно-практической конференции, Уфа, 24–25 мая 2017 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2017. – С. 122–123. – EDN ZEMDIR.
12. Макарычева Е. М., Кузнецов Т. И., Половков С. А., Барышев А. И., Покровская Е. А. 3D-ГИС для сопровождения работ по геотехническому мониторингу объектов магистральных трубопроводов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 342–351. – DOI 10.28999/2541-9595-2020-10-4-342-351. – EDN ONKIAZ.
13. Талапов В. В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 410 с.
14. Franco J., Mahdi F. and Abaza H. Using building information modeling (BIM) for estimating and scheduling, adoption barriers // *Universal Journal of Management*, 2015). – V. 3. – P. 376–384. – DOI 10.13189/ujm.2015.030905.
15. Bernardini F., Mittleman J., Rushmeier H., Silva C., & Taubin G. The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction // *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. – 1999. – V. 5 (4). – P. 349–359. DOI 10.1109/2945.817351.
16. Zlatanova S., Rahman A. A., Shi W. Topological models and frameworks for 3D spatial objects // *Computers & Geosciences*. – 2004. – V. 30. – No 4. – P. 419–428. – DOI 10.1016/j.cageo.2003.06.004.
17. Тихомирова Л. А. Законодательство в области промышленной безопасности: особенности и проблемы реализации: монография. – Казань: ТИСБИ, 2015. – 220 с. – EDN VUJMWZ.
18. Михайлов А. П., Синькова М. Г. Применение стереоскопического метода для наблюдения и обработки результатов трехмерного лазерного сканирования // Геодезия и картография. – 2003. – № 9. – С. 24–28.
19. Хлебникова Т. А. Технология построения измерительных трехмерных видеосцен по данным ЦММ: проблемы и пути решения // Геодезия и картография. – 2008. – № 2. – С. 44–46. – EDN IJNMRF.
20. Антипов И. Т., Зятькова Л. К., Хлебникова Т. А. Оценка точности измерительных трехмерных видеосцен // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2–1. – С. 52–57. – EDN UMZTQH.

21. Хлебникова Т. А., Оприцова О. А. Исследования точности построения плотной цифровой модели по материалам съемки с БАС для целей моделирования геопространства // Нефтегазовый комплекс: проблемы и решения. Материалы первой национальной научно-практической конференции в рамках 22-й международной конференции и выставки «Нефть и газ Сахалина-2018»: сборник научных статей. Южно-Сахалинск. – 2020. – С. 53–54. – DOI 10.52606/9785888116036_53. – EDN SEINHL.

22. Долгополов Д. В., Мелкий В. А., Аврунев Е. И. Методы обработки данных, полученных в линейных координатах, для геоинформационного обеспечения аэрокосмического мониторинга трубопроводных систем // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 6. – С. 62–69. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-62-69. – EDN HGFQGG.

Об авторах

Даниил Валентинович Долгополов – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Центра мониторинга и геоинформационных систем объектов трубопроводного транспорта.

Тарас Иванович Кузнецов – заместитель директора Центра мониторинга и геоинформационных систем объектов трубопроводного транспорта.

Ариф Ганиматович Ахундов – ведущий научный сотрудник Центра мониторинга и геоинформационных систем объектов трубопроводного транспорта.

Александр Иванович Барышев – зав. лабораторией разработки и ведения геоинформационных систем и баз данных.

Вячеслав Анатольевич Мелкий – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности.

Получено 14.03.2025

© Д. В. Долгополов, Т. И. Кузнецов,
А. Г. Ахундов, А. И. Барышев, В. А. Мелкий, 2025

Three-dimensional geoinformation modeling of main pipeline facilities by laser scanning data to form the boundary of the allotment of land

D. V. Dolgoplov¹, T. I. Kuznetsov¹, A. G. Akhundov¹, A. I. Baryshev¹, V. A. Melkiy²

¹ Scientific Research Institute of Pipeline Transport, Moscow, Russian Federation

² Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch RAS,
Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

e-mail vamelkiy@mail.ru

Abstract. The aim of this study is to select and formalize methodological approaches to constructing three-dimensional models of main pipeline facilities based on laser scanning data to form the boundary of land allotment. The study used geospatial modeling methods that provided parameters of pipeline system monitoring objects by laser scanning data. The network of main pipelines (MT) forms a complex natural and technical system, in which the sections have a significant length and are exposed to various natural and man-made processes, which complicates the observation of both the objects of the system and the dynamics of processes affecting its condition. When organizing geotechnical monitoring of pipeline system facilities, geoinformation modeling should be used, which is formed primarily subject to compliance with the principles of uniformity of measurements and dynamism. The article considers the issues of the level of detail of three-dimensional geoinformation models created by laser scanning data. Methodological and technological approaches to geoinformation modeling of trunk pipeline objects based on basic modeling elements and hierarchical classifiers of the subject area are

proposed, possibility of automating the modeling of monitoring objects based on laser scanning data is also considered. The models obtained using the proposed approach have mathematical precision of structural elements, which ensures high speed of their loading and operation both in desktop applications and in corporate Web portals, and also for use in forming the boundary of the allotment of land.

Keywords: land use zone, three-dimensional digital model, unified geographic information space, laser scanning, level of detail, main pipeline, geotechnical monitoring

REFERENCES

1. Dolgoplov, D. V. (2023) Theoretical justification for the development of aerospace research technologies for the creation of geospatial models of pipeline transport systems: Dissertation ... Doctor of Technical Sciences: 1.6.19. / Dolgoplov Daniil Valentinovich. *Novosibirsk, SGUGiT* 233 p. [in Russian].
2. Maiorov, A. A., Tsvetkov, V. Ya., Andreeva, O. A. (2020) Three-dimensional geoinformation modeling by mass information gathering. *Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying»*, 64(2), 229–236, DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-229- 236 EDN XIKGPD [in Russian].
3. Tikhomirov, A. L., Pirozhnikova, A. P. (2022) Development of an information model of a heat supply system at various stages of the life cycle. *Modern trends in construction, urban and territorial planning*, 1(3), 35–42, DOI 10.23947/2949-1835-2022-1-3-35-42 EDN ZTEMYQ [in Russian].
4. Kurbatov V. L., Rimshin V. I., Shubin I. L., Volkova S. V. (2023) *Informatsionnoe modelirovanie i iskusstvennyy intellekt v sovremennom stroitel'stve i zhilishchno-kommunal'nom khozyaystve: uchebnoe posobie* [Information modeling and artificial intelligence in modern construction and housing and communal services: a textbook]. Moscow: ASV Publ., 420 p. [in Russian].
5. Bachurina, S. S. (2021) *Informatsionnoe modelirovanie: metodologiya ispol'zovaniya tsifrovyykh modeley v protsesse perekhoda k tsifrovomu proektirovaniyu i stroitel'stvu. Ch. 2: Perekhod k tsifrovomu proektirovaniyu i stroitel'stvu. Metodologiya* [Information modeling: methodology of using digital models in the process of transition to digital design and construction. Part 2: Transition to digital design and construction. Methodology]. Moscow: DMK Press., 128 p. [in Russian].
6. Bogolyubov, S. A., Galinovskaya, E. A., Kichigin, N. V., Kovaleva, E. L. (2016) *Kommentariy k Gradostroitel'nomu kodeksu Rossiyskoy Federatsii (postateynnyy)*. [Commentary to the Urban Planning Code of the Russian Federation (article-by-article)]. 5th ed., revised and add. Moscow: KNORUS : Prospekt, 749 p. [in Russian].
7. Voronov, A. G., Chuzhinov, S. N., Zakharov, A. A., et al. (2018) Device for determining the planned-altitude position of a trunk oil pipeline: *Patent for Utility Model RU 182554 U1 Russian Federation*, F17D 5/00. Application No. 2018118608 dated 21.05.2018; published 22.08.2018; patent holders: Transneft Public Joint Stock Company (PJSC Transneft), Transneft – Vostok Limited Liability Company ("Transneft – Vostok" LLC), Pipeline Transport Research Institute Limited Liability Company (Research Institute Transneft LLC) EDN RQPZAP [in Russian].
8. Dolgoplov, D. V. (2022) Theoretical substantiation of the principles of formation of geospatial models of pipeline systems. *Izvestia Vuzov. "Geodesy and Aerophotosurveying"*, 66(5), 87–97, DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-5-87-97 EDN RQMIUH [in Russian].
9. Kuznetsov, T. I., Makarycheva, E. M., Baryshev, A. I., Pokrovskaya, E. A. (2023) Geoinformation systems of trunk pipeline facilities located in complex natural and climatic conditions. In *16-ya Mezhdunarodnaya konferencija i vystavka po osvoeniju resursov nefti i gaza Rossijskoj Arktiki i kontinental'nogo shel'fa stran SNG «RAO/CIS Offshore 2023» : Trudy* [Proceedings 16th International Conference and Exhibition on the Development of Oil and Gas Resources of the Russian Arctic and the CIS Continental Shelf "RAO/CIS Offshore 2023", St. Petersburg, September 26–29, 2023]. St. Petersburg: Pero Publishing House. (Pp. 327–329) EDN BIABCS [in Russian].

10. Dolgoplov, D. V. (2023) Modeling of pipeline transportation facilities based on remote sensing data. *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 84(5), 43–51, DOI 10.22389/0016-7126-2023-995-5-43-51 EDN JYRXBC [in Russian].
11. Kuznetsov, T. I., Dolgoplov, D. V. (2017) New opportunities for geotechnical monitoring of pipeline systems using GIS technologies with 3D visualization. In *Truboprovodnyy transport – 2017 : Tezisy dokladov XII Mezhdunarodnoy uchebno-nauchno-prakticheskoy konferentsii, Ufa, 24–25 maya 2017 goda [Pipeline transport – 2017: Abstracts of reports of the XII International educational-scientific-practical conference, Ufa, May 24–25, 2017]*. Ufa: Ufa State Petroleum Technological University, (pp. 122–123) EDN ZEMDIR [in Russian].
12. Makarycheva, E. M., Kuznetsov, T. I., Polovkov, S. A., Baryshev, A. I., Pokrovskaya, E. A. (2020) 3D-GIS for supporting works on geotechnical monitoring of trunk pipeline facilities. *Science and technologies of pipeline transportation of oil and oil products*, 10(4), 342–351, DOI 10.28999/2541-9595-2020-10-4-342-351 EDN ONKIAZ [in Russian].
13. Talapov, V. V. (2015) *Tekhnologiya BIM: sut' i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy [BIM technology: the essence and features of the introduction of building information modeling]*. Moscow: DMK Press., 410 p. [in Russian].
14. Franco, J., Mahdi, F. and Abaza, H. (2015). Using building information modeling (BIM) for estimating and scheduling, adoption barriers, *Universal Journal of Management*, 3, 376–384. DOI 10.13189/ujm.2015.030905.
15. Bernardini, F., Mittleman, J., Rushmeier, H., Silva, C., & Taubin, G. (1999) The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 5(4), 349–359, DOI 10.1109/2945.817351.
16. Zlatanova, S., Rahman, A. A., Shi, W. (2004). Topological models and frameworks for 3D spatial objects. *Computers & Geosciences*, 30(4), 419–428, DOI 10.1016/j.cageo.2003.06.004.
17. Tikhomirova, L. A. (2015) *Zakonodatel'stvo v oblasti promyshlennoy bezopasnosti: osobennosti i problemy realizatsii : monografiya [Legislation in the field of industrial safety: features and problems of implementation : monograph]*. Kazan : TISBI Publ., 220 p. EDN VUJMWZ [in Russian].
18. Mikhailov, A. P., Sin'kova, M. G. (2003). Application of stereoscopic method for observation and processing of results of three-dimensional laser scanning. *Geodezia i kartografiya*, 9, 24–28 [in Russian].
19. Khlebnikova, T. A. (2008). The construction technology of 3D measurement videoscenes on digital terrain model data: problems and solution means. *Geodezia i kartografiya*, 2, 44–46. EDN IJNMRF [in Russian].
20. Antipov, I. T., Zyat'kova, L. K., Khlebnikova, T. A. (2012) Evaluation of the accuracy of measuring three-dimensional video scenes. *Izvestia Vuzov. "Geodesy and Aerophotosurveying"*, 2–1, 52–57. EDN UMZTQH [in Russian].
21. Khlebnikova T. A., Opritova O. A. (2020) Investigation of the accuracy of constructing a dense digital model based on survey data from databases for the purposes of geospatial modeling. *Oil and gas complex: problems and solutions. Proceedings of the first national scientific and practical conference within the framework of the 22nd International Conference and exhibition "Sakhalin Oil and Gas-2018": collection of scientific articles*. Yuzhno-Sakhalinsk, Pp. 53–54 DOI: 10.52606/9785888116036_53 EDN SEINHL [in Russian].
22. Dolgoplov, D. V., Melkiy, V. A., Avrunev, E. I. (2024) Methods of processing data obtained in linear coordinates for geoinformation support of aerospace monitoring of pipeline systems. *Bulletin of SSUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 29(6), 62–69, DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-62-69 EDN HGFQGG [in Russian].

Author details

Daniil V. Dolgopolov – D. Sc., Leading Researcher, Center for Monitoring and Geoinformation Systems of Pipeline Transport Facilities.

Taras I. Kuznetsov – Deputy Director of the Center for Monitoring and Geoinformation Systems of Pipeline Transport Facilities.

Arif G. Akhundov – Leading Researcher of the Center for Monitoring and Geoinformation Systems of Pipeline Transport.

Aleksandr I. Baryshev – Head of the Laboratory for Development and Maintenance of Geoinformation Systems and Databases.

Vyacheslav A. Melkiy – D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcanic Hazard.

Received 14.03.2025

© *D. V. Dolgopolov, T. I. Kuznetsov, A. G. Akhundov, A. I. Baryshev, V. A. Melkiy, 2025*

УДК 528.9:332.1

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-131-142

Концепция геопространственной цифровой научно-исследовательской инфраструктуры СГУГиТ

А. П. Карник, А. В. Дубровский¹✉, О. И. Малыгина¹

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: avd5@ssga.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме создания интегрированной среды университета для развития фундаментальных и прикладных исследований в области геоинформатики и пространственного анализа. В условиях стремительного роста объемов геопространственных данных и расширения возможностей их применения необходимость создания такой научно-исследовательской инфраструктуры (НИИ) становится критически важной для повышения эффективности научной деятельности и образовательного процесса. Отсутствие единой платформы приводит к фрагментации данных, дублированию усилий и ограничению возможностей для междисциплинарных исследований. Предлагаемая концепция описывает архитектуру геопространственной цифровой НИИ университета, сосредотачивающую ключевые элементы геопространственных технологий в трех основных компонентах: ГЕОМОНИТОР, ГЕОПРОТОТИП и ГЕОПОЛИГОН. ГЕОМОНИТОР отвечает за сбор, хранение, обработку и визуализацию геопространственных данных, обеспечивая доступ к актуальной информации для исследователей и обучающихся. ГЕОПРОТОТИП предназначен для разработки и тестирования геоинформационных моделей и алгоритмов, позволяя проводить виртуальные эксперименты и моделировать различные сценарии. ГЕОПОЛИГОН представляет собой набор сервисов и приложений, предоставляющих пользователям доступ к функционалу пространственного анализа, моделирования и визуализации данных, а также реальные физические полигоны для проведения натурных исследований. Статья подробно описывает функциональность каждого компонента, его взаимосвязь с другими компонентами и механизмы взаимодействия с пользователями. Особое внимание уделяется вопросам обеспечения интеграции НИИ с существующей инфраструктурой университета и возможностям расширения ее функциональности в будущем. В качестве практических результатов работы представлен пример применения компонентов предлагаемой НИИ. В заключении на основании анализа научной литературы сделан вывод о высоком потенциале предложенной концепции геопространственной цифровой НИИ для улучшения качества научных исследований, расширения образовательных возможностей и решения актуальных проблем в области устойчивого пространственного развития. Внедрение в работу университета разработанных компонентов архитектуры НИИ способствует интеграции фундаментальных и прикладных исследований, создавая благоприятную среду для подготовки высококвалифицированных специалистов в области геоинформатики и пространственного анализа.

Ключевые слова: геопространственная цифровая научно-исследовательская инфраструктура, системный анализ, геоданные, междисциплинарные научные исследования, геоинформационные технологии, цифровой двойник, устойчивое развитие, геомониторинг, геополлигоны, геоаналитика

Для цитирования:

Карник А. П., Дубровский А. В., Малыгина О. И. Концепция геопространственной цифровой научно-исследовательской инфраструктуры СГУГиТ // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 131–142. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-131-142

Введение

Формирование геопространственной цифровой НИИ как стратегического проекта университета обусловлена острой необходимостью создания интегрированной среды для развития фундаментальных и прикладных исследований в области геоинформатики и пространственного анализа [1]. В настоящее время отсутствует единая, структурированная цифровая геопространственная НИИ, способная эффективно объединять геопространственные данные, аппаратные и программные средства, исследовательские компетенции и образовательные программы университета. Это приводит к ряду негативных последствий [2–4]:

– во-первых, фрагментация геопространственных данных, компонентов цифровой и технической инфраструктур между отдельными подразделениями университета препятствует эффективному использованию всего накопленного потенциала научного знания внутри университета. Отсутствие единой базы пространственных данных, использование несовместимых форматов и отсутствие единых стандартов хранения информации снижают качество исследований и замедляют темпы внедрения инноваций;

– во-вторых, отсутствие общей платформы для разработки геоинформационных систем и сервисов ограничивает возможности университета в создании конкурентоспособных продуктов и решений. Разработка отдельных, не связанных между собой систем приводит к дублированию усилий и снижению эффективности;

– в-третьих, недостаток взаимодействия между фундаментальными исследованиями и прикладными разработками снижает потенциал трансфера знаний и технологий. Отсутствие цифровой НИИ, обеспеченной кадровым потенциалом, затрудняет внедрение результатов фундаментальных исследований в образовательный процесс, практику производственных работ и коммерциализацию инноваций;

– в-четвертых, недостаточная интеграция образовательных программ и исследовательской деятельности не позволяет университету

готовить высококвалифицированных специалистов, востребованных на рынке труда. Обучение в отрыве от реальных задач и актуальных проектов снижает практическую ценность образования;

– в-пятых, слабое взаимодействие с бизнесом и международными партнерами ограничивает доступ к инновационным технологиям, ресурсам и рынкам. Отсутствие цифровой платформы затрудняет совместную разработку и внедрение новых геопространственных решений.

Основной целью данной научно-исследовательской работы является описание архитектуры геопространственной цифровой НИИ университета. Объектом исследования являются цифровые технологии и информационные системы, применяемые в университете для обеспечения учебного, научного, производственного и управленческого процессов, а также взаимодействия участников образовательной и исследовательской деятельности посредством геопространственных данных и сервисов.

Предметом исследования являются процессы проектирования и построения архитектуры геопространственной цифровой НИИ, включающей интеграцию геоинформационных данных, сервисов, платформ и инструментов, обеспечивающих эффективное управление образовательными и исследовательскими ресурсами университета.

Таким образом, создание геопространственной цифровой НИИ в университете является стратегическим шагом, направленным на преодоление указанных проблем, повышение эффективности научной деятельности, усиление инновационного потенциала и подготовку высококвалифицированных специалистов [5]. Данное исследование направлено на разработку концепции и определение ключевых элементов такой НИИ, что позволит университету занять лидирующие позиции в области геопространственных технологий.

Методы и материалы

Для моделирования архитектуры геопространственной цифровой НИИ, определения ее компонентов и взаимодействий между

ними были использованы методы системного анализа. Для определения целей, задач, этапов реализации проекта и оценки рисков были использованы методы стратегического планирования, в частности, метод сценариев. Для разработки концептуальной модели базы данных для хранения и управления геопространственными данными использовались методы проектирования баз данных. Методы моделирования были использованы для разработки моделей функционирования НИИ: они позволяют оценить ее эффективность и предусмотреть возможные проблемы, связанные с ее функционированием.

В качестве материалов исследования были изучены стратегические планы развития университета, планы развития научных подразделений, отчеты о научно-исследовательской деятельности, нормативные документы, регламентирующие использование геоданных и технологий.

Было проведено анкетирование и интервьюирование, в результате чего собрана информация о потребностях и мнениях сотрудников университета (преподавателей, исследователей, административного персонала), обучающихся, а также потенциальных внешних партнеров (представителей бизнеса, государственных организаций). Это позволило оценить существующие потребности и ожидания от цифровой НИИ.

Также был применен метод SWOT-анализа: выполнена оценка сильных и слабых сторон, возможностей и угроз, связанных с созданием и развитием геопространственной цифровой НИИ в университете [6].

Были использованы результаты изучения кейсов успешных проектов [7]. Применялось эталонное оценивание (Benchmarking): сравнение существующей инфраструктуры и практик университета с лучшими мировыми практиками в области построения геопространственных цифровых НИИ в других университетах и организациях [8]. Например, в качестве успешных проектов, реализованных в зарубежных университетах Австралии, рассмотрен опыт создания инфраструктуры научно-исследовательского и производственного кластера Квинслендского технологического университета [9]. В статье [10] подчеркивается значимая роль университетских инновационных инфраструктур интегрированного обучения как основного элемента взаимо-

связи между университетом и промышленностью на примере университета Флиндерса.

Особый интерес представляет передовой опыт Московского государственного университета геодезии и картографии по разработке стратегии развития университета по программе «Приоритет 2030» (Программа развития Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК) на 2021–2030 годы <https://mii-gaik.ru/upload/medialibrary/f78/f789e5346a46e1718d1750b4d6ae6dc1.pdf>. – Текст : электронный). Разработчики стратегии подчеркивают «необходимость цифровой трансформации как образовательного, так и научно-исследовательского процессов в университете», а также делают акцент на «развитии стратегических проектов, направленных на кадровое, научно-техническое и экспертно-методическое обеспечение государственной программы Российской Федерации "Национальная система пространственных данных". В качестве стратегических проектов в программе развития МИИГАиК выступают «ГеоКВАРТАЛ» (геоданные и геоинформационные технологии для инновационного развития Москвы как «Умного города-2030»), «ГеоПОРТ» (портфельное решение для развития человеческого и социального капитала национальной системы пространственных данных России), «ГеоТЕХ» (комплекс научных и технологических исследований и взаимосвязанных образовательных программ, реализованных на инфраструктурной платформе университета).

Результаты

Отсутствие интегрированной цифровой НИИ создает значительные барьеры для ведения как фундаментальных, так и прикладных исследований в области геоинформационных технологий. Научные учреждения и университеты сталкиваются с недостатком доступных и качественных геопространственных данных, что затрудняет проведение исследования и использование современных методов анализа. Без базовой инфраструктуры для сбора, хранения и обработки данных возможности для инноваций и новых открытий ограничены. С другой стороны, развитие геоинформационных систем и сервисов, поддержи-

вающих анализ и визуализацию геопроостранственной информации, невозможно без системного подхода к обучению и подготовке кадров. В условиях недостатка квалифицированных специалистов, способных работать с современными геоинформационными технологиями, университеты должны играть активную роль в формировании необходимых компетенций и навыков у обучающихся и аспирантов, формируя междисциплинарность научных исследований [11]. Ключевым моментом является внедрение программ, направленных на интеграцию теории и практики, что позволяет не только обучать, но и продвигать актуальные исследования (университет Дьюка, Вашингтон) [Balleisen, E. The Challenges of Building Interdisciplinary Ecosystems at Research Universities. № 21, 2024. – URL: <https://interdisciplinary.duke.edu/resource/challenges-building-interdisciplinary-ecosystems-research-universities>. – Текст : электронный].

Основными элементами НИИ геопроостранственных технологий являются [12]:

- геопроостранственные данные и инфраструктура (центр геомониторинга, собирающий и обрабатывающий спутниковые снимки, данные ДЗЗ, данные геодезических наблюдений, картографические материалы и т. д.);

- геопорталы и облачные платформы для доступа, визуализации и распространения геоданных;

- геоинформационные системы и сервисы;

- проектирование, разработка и внедрение собственных ГИС-решений для различных отраслевых и региональных задач;

- создание геоаналитических инструментов и приложений на базе ГИС-технологий;

- фундаментальные исследования и прикладные разработки (научно-исследовательский центр в области применения геоинформационных технологий, лаборатории пространственного моделирования, ГИС-технологии, беспилотные системы и др.);

- образование и подготовка кадров, включающая позиционирование уникальности образовательных программ по геоинформатике, геодезии, кадастру, картографии, ГИС-технологиям, оптическому приборостроению, а также программ повышения квалификации и переподготовки специалистов в сфере геоинформационных технологий (ГИТ);

- инновационная НИИ в бизнесе (бизнес-инкубатор/акселератор для стартапов в области геопроостранственных технологий, центр трансфера технологий и коммерциализации ГИТ-решений);

- международное сотрудничество, включая партнерства с ведущими университетами и научными центрами в сфере ГИТ, участие в международных исследовательских проектах и обмен передовым опытом.

Проект концепции геопроостранственной цифровой НИИ университета включает следующие разделы.

Миссия проекта: создание инновационной высокотехнологичной геопроостранственной НИИ для устойчивого развития России в новом и приближающемся технологических укладах.

Определение целей и задач создания НИИ: стать лидером Сибирского и Дальневосточного макрорегионов в образовании, исследованиях, разработках, цифровых платформенных решениях и технопредпринимательстве в области геопроостранственной деятельности.

Компоненты архитектуры НИИ представлены на рис. 1.

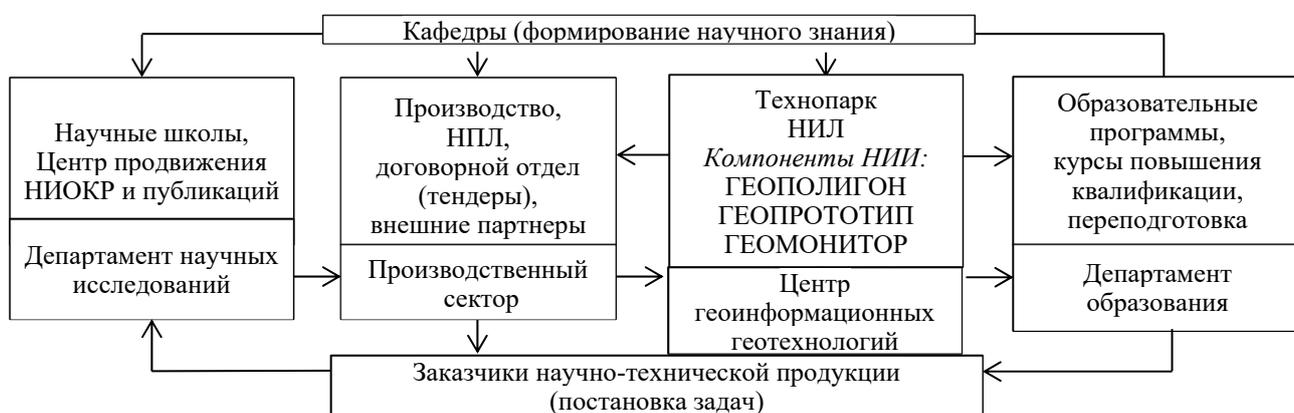


Рис. 1. Компоненты архитектуры геопроостранственной цифровой НИИ университета

Инфраструктура данных, сервисы и приложения сосредоточены в трех компонентах НИИ, которые для более емкого обозначения названы сокращенно: ГЕОМОНИТОР, ГЕОПРОТОТИП и ГЕОПОЛИГОН.

ГЕОМОНИТОР – предполагает создание в структуре университета специализированного междисциплинарного подразделения, которое станет драйвером развития НИИ геопространственных технологий и обеспечит их широкое использование для решения актуальных задач развития региона и страны. Основными целями создания являются:

- обеспечение комплексного геопространственного мониторинга, анализа и моделирования природных, социально-экономических и техногенных процессов;

- разработка и внедрение инновационных геоинформационных технологий, продуктов и услуг для различных отраслей экономики и сфер жизнедеятельности;

- подготовка высококвалифицированных кадров в области геоинформатики, геодезии, картографии и смежных дисциплин, внедрение новых технологий геомониторинга в учебный процесс.

Ключевые задачи:

- создание современной технологической и исследовательской инфраструктуры, включая геоинформационные системы, базы пространственных данных, центры обработки данных и др.;

- развитие междисциплинарных научно-исследовательских компетенций в области геомониторинга и пространственного анализа;

- формирование и реализация профессиональных модулей образовательных программ по геоинформатике, геодезии, картографии и смежным направлениям;

- формирование эффективных механизмов трансфера технологий и коммерциализации разработок университета;

- установление стратегических партнерств с органами власти, бизнесом, научными и образовательными организациями.

ГЕОПРОТОТИП – цифровой двойник – передовая научно-технологическая платформа для разработки и внедрения интеллектуальных геопространственных решений на

основе технологии цифровых двойников. Основной идеей прототипирования является создание опытного образца, модели или версии чего-либо для проверки концепции или демонстрации функциональности определенных элементов системы. Прототип – это не финальный продукт, а его предшественник, предназначенный для тестирования, улучшения и доработки модели. Прототип позволяет выявить недостатки на ранней стадии разработки, сэкономив время и ресурсы. Основными целями его создания являются:

- разработка и исследование инновационных методов и алгоритмов создания цифровых двойников пространственных объектов, процессов, явлений и систем;

- построение интегрированной геоинформационной системы на основе технологии цифровых двойников для поддержки управленческих решений;

- подготовка высококвалифицированных специалистов в области геоинформатики, пространственного моделирования и искусственного интеллекта.

Ключевые задачи:

- создание распределенной сети сенсоров и датчиков для сбора пространственных данных в режиме реального времени;

- разработка методологии построения многомасштабных цифровых двойников территорий, инфраструктуры, природных и техногенных систем;

- интеграция технологий искусственного интеллекта, больших данных и симуляционного моделирования в геоинформационные системы;

- реализация пилотных проектов по внедрению цифровых двойников в практику управления регионами, городами, предприятиями;

- подготовка и переподготовка кадров в области геоинформатики, пространственного моделирования и цифровых двойников.

ГЕОПОЛИГОН – создание междисциплинарного научно-образовательного центра, который станет полигоном для апробации, внедрения и демонстрации передовых геопространственных технологий. Геополигон позволит объединить усилия университета, органов власти, бизнеса и научного сообщества в целях

устойчивого развития региона, повышения эффективности управления территориями и улучшения качества жизни граждан. Основными целями создания являются:

- создание исследовательской и технологической платформы для разработки, тестирования и внедрения инновационных геопроостранственных решений;

- реализация пилотных проектов и демонстрационных полигонов в интересах органов государственной власти, бизнеса и гражданского общества;

- подготовка высококвалифицированных кадров, обладающих компетенциями в области геоинформатики, дистанционного зондирования, навигации, моделирования и анализа пространственных данных.

Ключевые задачи:

- формирование современной инфраструктуры для комплексного геомониторинга территорий (спутники, БПЛА, мобильные платформы, сенсорные сети и пр.);

- разработка и внедрение интегрированных геоинформационных систем, цифровых платформ и мультимасштабных 3D/4D моделей пространственных объектов;

- использование технологий искусственного интеллекта, виртуальной/дополненной

реальности, больших данных в геопроостранственных приложениях;

- реализация пилотных проектов по цифровой трансформации территорий, городской среды, инфраструктуры и отраслей экономики;

- создание механизмов трансфера технологий и коммерциализации разработок ГЕОПОЛИГОНА;

- подготовка кадров по приоритетным направлениям геоинформатики и смежных дисциплин.

Предлагаемая архитектура геопроостранственной цифровой НИИ с основными компонентами: ГЕОМОНИТОР, ГЕОПРОТОТИП, ГЕОПОЛИГОН была внедрена в производство работ и протестирована на опытных участках территории Новосибирской области. Например, полноценная реализация всего технологического цикла – сбора и накопления разновременных пространственных данных, их обработки и построения цифрового двойника процесса с последующим тестированием прототипа на реальных участках местности – была выполнена в рамках научно-исследовательской работы по мониторингу и оценке скорости разрушения береговой линии Новосибирского водохранилища (рис. 2) [13].

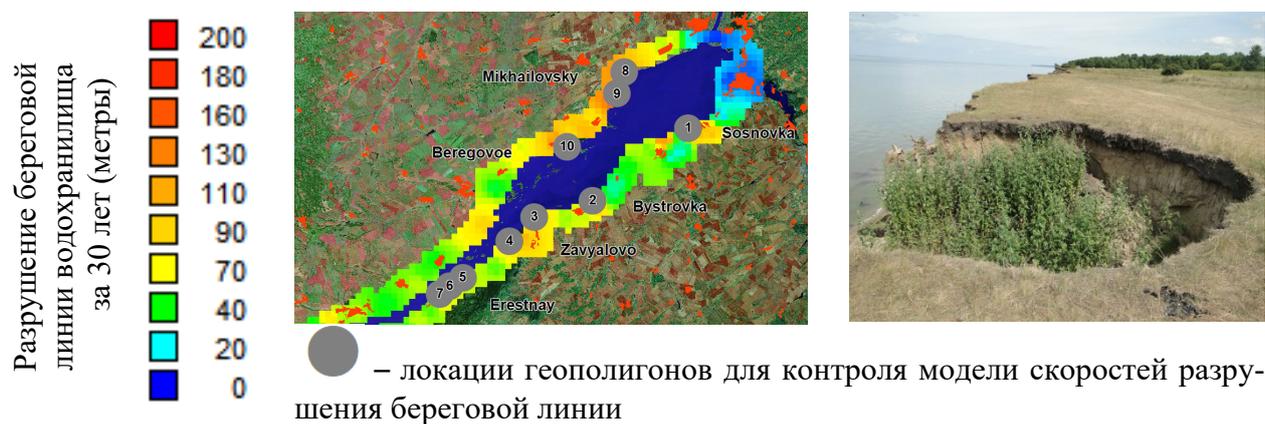


Рис. 2. Градиентная модель скоростей разрушения береговой линии Новосибирского водохранилища, визуализирующая результаты геопрототипирования

В последующем полученная цифровая модель (геопрототип) реального процесса разрушения береговой линии Новосибирского водохранилища была уточнена по фактическим данным, полученным в результате нескольких эпох наблюдения на геополигонах.

Обсуждение

В качестве проблемы при развертывании геопроостранственной цифровой НИИ университета можно отметить тот факт, что фундаментальные исследования требуют наличия

высокоточных данных и инструментов для их анализа [14]. В свою очередь, прикладные разработки остаются на низком уровне из-за нехватки информации и высокой стоимости современных технологий, необходимых для их реализации. «Устойчивый характер пространственному развитию страны, его сбалансированность и необратимость может обеспечить проектный подход, реализуемый дифференцированно, с учетом территориальных особенностей регионов и на основе планирования и реализации крупных региональных и межрегиональных инвестиционных проектов» [15]. «Университеты все чаще воспринимают как участников процесса регионального развития. В настоящее время признано, что вклад академических учреждений в формирование социально-экономической среды отнюдь не исчерпывается научными исследованиями и образовательной деятельностью, но включает также рыночные инициативы» [Balleisen, E. The Challenges of Building Interdisciplinary Ecosystems at Research Universities. № 21, 2024. – URL: <https://interdisciplinary.duke.edu/resource/challenges-building-interdisciplinary-ecosystems-research-universities>. – Текст : электронный].

Образование и подготовка кадров в области геоинформационных технологий также остаются под угрозой. Учитывая быстрое развитие технологий, важно обеспечить работников отрасли актуальными знаниями и навыками. Без универсального и глубокого понимания принципов работы с геопрограммными данными выпускники не смогут удовлетворить потребности современного рынка труда. Как отмечается в работе [16], «региональные вузы, в собственном функционировании не учитывающие значимость улучшения пространственных свойств экономики, в существенной степени становятся причиной наиболее устойчивого и острого дисбаланса между высокими ожиданиями и фактической продуктивностью системы высшего профессионального образования».

Предлагаемые компоненты геопрограммной цифровой НИИ в рамках образовательного процесса реализуют проектный подход и могут обеспечить не только формирование информационного обеспечения для целей

устойчивого развития, но и создание пространства для междисциплинарного взаимодействия, позволяя обучающимся и преподавателям работать над реальными проектами, связанными с решением актуальных социальных и экологических задач [11]. Это, в свою очередь, способствует развитию критического мышления и практических навыков у будущих специалистов, что отвечает потребностям современного рынка труда. Кроме того, интеграция инновационных технологий в учебный процесс поможет лучше подготовить обучающихся к работе с большими данными и современными геоинформационными системами. Важно, что такой подход стимулирует научные исследования, направленные на практическое применение полученных знаний, повышая их значимость и востребованность. Взаимодействие с бизнесом и международными партнерами через проектные инициативы укрепляет связи между образованием и реальным сектором, способствуя формированию устойчивой инновационной НИИ.

Создание инновационных НИИ в бизнесе требует взаимодействия с научными центрами и университетами, способными предоставлять квалифицированные кадры и подготовленные решения. Невозможность налаживания взаимовыгодного сотрудничества между образовательными учреждениями, наукой и бизнесом замедляет процесс внедрения новых технологий и, как следствие, ограничивает потенциал экономического роста [17].

Также международное сотрудничество в области геопрограммных технологий представляет собой наряду с повышением уровня образования и упрощением доступа к данным важный аспект формирования устойчивой НИИ [1, 18]. Отсутствие интеграции на международном уровне приводит к тому, что страны не могут извлечь выгоду из совместных исследований и обмена опытом, а это в конечном итоге затрудняет прогресс в сфере устойчивого пространственного развития [5, 19].

Заключение

В статье была представлена концепция геопрограммной цифровой НИИ университета как интегрированной среды для развития

фундаментальных и прикладных исследований в области геоинформатики и пространственного анализа. Рассмотрены ключевые составляющие данной НИИ – компоненты ГЕОМОНИТОР, ГЕОПРОТОТИП и ГЕОПОЛИГОН, – которые обеспечивают создание устойчивой инфраструктуры данных и сервисов для эффективного мониторинга и анализа геопропространственной информации.

Приведенные примеры практического использования НИИ, такие как градиентная модель скоростей разрушения береговой линии Новосибирского водохранилища и мониторинг состояния береговой линии с использованием геодезических измерительных средств, демонстрируют актуальность и жизнеспособность предложенной концепции. Эти результаты подчеркивают потенциал применения геоин-

формационных технологий для решения реальных инженерно-технических, землеустроительных, экологических и градостроительных задач, связанных с устойчивым развитием мегаполисов.

Таким образом, концепция геопропространственной цифровой НИИ не только отвечает требованиям современных научных исследований, но и может стать важным шагом на пути к более устойчивому и безопасному будущему. Необходимыми шагами для дальнейшего развития данной НИИ являются углубление междисциплинарного сотрудничества, активизация образовательных процессов и интеграция новых технологий, что в конечном итоге позволит обеспечить трансформацию научных идей в реальные практические решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Мусихин И. А., Ветошкин Д. Н. Интеллектуальные информационные модели территорий как эффективный инструмент пространственного и экономического развития // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 155–163. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-155-163. – EDN FXIMIO.
2. Карпик А. П., Обиденко В. И., Побединский Г. Г. Исследование потребности федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации в пространственных данных // Геодезия и картография. – 2021. – Т. 82, № 2. – С. 49–63. – DOI 10.22389/0016-7126-2021-968-2-49-63. – EDN MAIYHU.
3. Дубровский А. В. К вопросу разработки модели проблемно-ориентированного проектного обучения по направлению подготовки «Землеустройство и кадастры» // Актуальные вопросы образования. Модель проблемно-ориентированного проектного обучения в современном университете : сб. материалов Международной научно-методической конференции, 24–26 февраля 2021 года, Новосибирск. В 3 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – Ч. 3. – С. 142–147.
4. Антонова Н. Л., Меренков А. В. Модель «перевернутого обучения» в системе высшей школы: проблемы и противоречия // Интеграция образования. – 2018. – Т. 22, № 2 (91). – С. 237–247. – DOI 10.15507/1991-9468.091.022.201802.237-247. – EDN XROLOH.
5. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Перспективы развития геодезического и картографического производства и новая парадигма геопропространственной деятельности // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 19–29. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-19-29. – EDN FUEEZK.
6. Бабин Е. Н. Цифровизация университета: построение интегрированной информационной среды // Университетское управление: практика и анализ. – 2018. – Т. 22, № 6. – С. 44–54. – DOI 10.15826/umpra.2018.06.057. – EDN ORULLO.
7. Зуева О. С., Шамсутдинов Э. В. Особенности развития научных исследований в российских вузах в современных условиях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2017. – № 1(33). – С. 71–79. – EDN WNNIHU.
8. Харченко Е. В., Широкова Л. В., Тимохина Е. В. Роль университетов в формировании условий глобального технологического лидерства России // Социально-экономические явления и процессы. – 2017. – Т. 12, № 6. – С. 341–347. – EDN VVALJJ.
9. Muller D. E. F., Peer R. T. Creating a Sustainable Research Ecosystem at Universities: A Framework for Development / Higher Education, 2021 – DOI: 10.1007/s10734-020-00605-3.

10. Rampersad G. Building University Innovation Ecosystems: The Role of Work Integrated Learning as a Core Element in the University-Industry Nexus. Flinders University, Scitech Research Organisation, 2015. – Vol. 4, Issue 1. – P 231–240.

11. Дубровский А. В. Об опыте вовлечения обучающихся университета в научные исследования // Актуальные вопросы образования. Формирование механизмов системы высшего образования в России : сборник материалов Национальной научно-методической конференции с международным участием, 14–16 марта 2023 года, Новосибирск. В 3 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – Ч. 1. – С. 223–228. – DOI 10.33764/2618-8031-2023-1-223-227. – EDN FTINRL.

12. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 260 с. – ISBN 5-87693-146-2. – EDN QKFJEZ.

13. Карпик А. П., Аврунев Е. И., Добротворская Н. И., Дубровский А. В., Малыгина О. И., Попов В. К. Организация системы геоинформационного мониторинга состояния земельных ресурсов прибрежной зоны Новосибирского водохранилища // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. г. Новосибирск : сб. материалов. – Томск : ТПУ, 2019. – Т. 330. № 8. – С. 133–145. – DOI 10.18799/24131830/2019/8/2219. – EDN BNWNFD.

14. Алетдинова А. А., Аренов И. А., Афанасьева Р. Р. [и др.] Цифровая трансформация экономики и промышленности: проблемы и перспективы. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. – 807 с. – DOI 10.18720/ИЕР/2017.4. – ISBN 978-5-7422-5881-0. – EDN ZFCQAV.

15. Комов Н. В., Шарипов С. А., Носов С. И. [и др.] Устойчивое пространственное развитие. Проектирование и управление – М. : Губарев Евгений Владимирович, 2021. – 752 с. – ISBN 978-5-504-01040-3. – EDN UGDBYH.

16. Болгова Е. В. Система образования в экономическом пространстве региона // Региональная экономика: теория и практика. – 2011. – № 45 (228). – С. 29–37. – EDN OJLHUX.

17. Ефимова Е. Г. Цифровая трансформация экономики и общества: проблемы и перспективы // Экономические исследования и разработки. – 2022. – № 11-2. – С. 23–31. – DOI 10.54092/25420208_2022_112_23. – EDN TSJZZA.

18. Мерзликина Г. С., Могхарбел Н. О., Кожанова Т. Е. Стратегические приоритеты устойчивого развития региона и бизнеса. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2024. – 168 с. – ISBN 978-5-9948-4963-7. – EDN TEFYGR.

19. Воронов А. С. Пространственный подход в развитии социально-экономических систем регионов // Государственное управление. Электронный вестник. – 2019. – № 75. – С. 249–267. – EDN BZJMAN.

Об авторах

Карпик Александр Петрович – доктор технических наук, профессор, ректор СГУГиТ (2006 – 05.02.2025).

Алексей Викторович Дубровский – доктор технических наук, доцент, директор Института кадастра и природопользования.

Малыгина Олеся Игоревна – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой кадастра и территориального планирования.

Получено 21.04.2025

© **А. П. Карпик**, А. В. Дубровский, О. И. Малыгина, 2025

Concept of SSUGT's Geospatial Digital Research Infrastructure

А. П. Карпик, А. В. Дубровский¹✉, О. И. Малыгина¹

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: avd5@ssga.ru

Abstract. The article is devoted to the urgent problem of creating a University's integrated digital research infrastructure (DRI) supporting fundamental and applied research in the field of geoinformatics and spatial analysis. With the rapid growth of geospatial data and expansion of its application possibilities, the need to create such an ecosystem is becoming essential for improving the efficiency of scientific activities and educational process. The lack of a unified platform leads to data fragmentation, duplication of efforts and limited opportunities for interdisciplinary research. The proposed concept outlines the architecture of a University's geospatial DRI focusing on three core components: Geo-Monitor, Geo-Prototype, and Geo-Polygon. Geo-Monitor is responsible for collecting, storing, processing, and visualizing geospatial data, ensuring researchers and students have access to up-to-date information. Geo-Prototype serves as a development and testing environment for geographic information models and algorithms, enabling virtual experiments and scenario simulations. Geo-Polygon encompasses a suite of services and applications that provide users with tools for spatial analysis, modeling, visualization, as well as real-world physical sites for field-based investigations. The authors provide a detailed description of each component functionality, its interrelation with other elements, and mechanisms for user interaction. Special emphasis is paid to integrating the DRI into the existing university ecosystem and exploring opportunities for future functional expansion. A number of application examples of the developed ecosystem are presented in the paper. It is concluded that the proposed geospatial DRI holds significant potential for improving both research and educational outcomes, and addressing critical challenges related to sustainable spatial development. Implementing the developed components within the University framework fosters integration between fundamental and applied research and creates an optimal environment for training highly skilled specialists in the field of geographic information science and spatial analytics.

Keywords: geospatial digital ecosystem, system analysis, geodata, interdisciplinary scientific research, geoinformation technologies, digital twin, sustainable development, geomonitoring, geopoli-gons, geoanalytics

REFERENCE

1. Karpik, A. P., Musikhin, I. A., Vetoshkin, D. N. (2021). Intelligent information models of territories as an effective tool for spatial and economic development *Vestnik SGUGiT [Vestnik SGUGT]*. Vol. 26, No. 2. P. 155–163. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-155-163. EDN FXIMIO [in Russian].
2. Karpik, A. P., Obidenko, V. I., Pobedinsky, G. G. (2021). Study of the needs of federal executive bodies of the Russian Federation for spatial data *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*. Vol. 82, No. 2. P. 49–63. DOI 10.22389/0016-7126-2021-968-2-49-63. EDN MAIYHU [in Russian].
3. Dubrovsky, A. V. (2021). On the development of a model of problem-oriented project-based learning in the field of training "Land Management and Cadastres" *Aktual'nyye voprosy obrazovaniya. Model' problemno-oriyentirovannogo proyektного obucheniya v sovremennom universitete : sb. materialov Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii, 24–26 fevralya 2021 goda, [Current issues in education. Model of problem-oriented project-based learning in a modern university: collection of materials from the International scientific and methodological conference, February 24-26, 2021, Novosibirsk]*. In 3 parts. Part 3. Novosibirsk: SGUGiT, Pp. 142–147 [in Russian].
4. Antonova, N. L., Merenkov, A. V. (2018). Model of "flipped learning" in the higher education system: problems and contradictions *Integratsiya obrazovaniya [Integration of education]*. Vol. 22, No. 2 (91). Pp. 237–247. DOI 10.15507/1991-9468.091.022.201802.237-247. EDN XROLOH [in Russian].
5. Karpik, A. P., Lisitsky, D. V. (2020). Prospects for the Development of Geodetic and Cartographic Production and a New Paradigm of Geospatial Activity *Vestnik SGUGiT [Vestnik SGUGT]*. Vol. 25, No. 2. P. 19–29. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-19-29. EDN FUEEZK [in Russian].
6. Babin, E. N. (2018). Digitalization of the University: Building an Integrated Information Environment *Universitetskoye upravleniye: praktika i analiz. [University Management: Practice and Analysis]*. Vol. 22, No. 6. P. 44–54. DOI 10.15826/umpa.2018.06.057. EDN ORULLO [in Russian].

7. Zueva, O. S., Shamsutdinov, E. V. (2017). Features of the development of scientific research in Russian universities in modern conditions *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta [Vestnik of the Kazan State Power Engineering University]*. No. 1 (33). P. 71–79. EDN WNNIHU [in Russian].

8. Kharchenko, E. V., Shirokova, L. V., Timokhina, E. V. (2017). The role of universities in shaping the conditions for Russia's global technological leadership *Sotsial'no-ekonomicheskiye yavleniya i protsessy [Socio-economic phenomena and processes]*. Vol. 12, No. 6. P. 341–347 EDN VVALJJ [in Russian].

9. Muller, D. E. F., Peer, R. T. (2021). Creating a Sustainable Research Ecosystem at Universities: A Framework for Development *Higher Education*. DOI: 10.1007/s10734-020-00605-3.

10. Rampersad, G. (2015). Building University Innovation Ecosystems: The Role of Work Integrated Learning as a Core Element in the University-Industry Nexus. *Flinders University, Scitech Research Organisation*, Vol. 4, Issue 1. P. 231–240.

11. Dubrovsky, A. V. (2023). On the experience of involving university students in scientific research. *Aktual'nyye voprosy obrazovaniya. Formirovaniye mekhanizmov sistemy vysshogo obrazovaniya v Rossii : sbornik materialov Natsional'noy nauchno-metodicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, 14–16 marta 2023 goda, Novosibirsk [Current issues of education. Formation of mechanisms of the higher education system in Russia: collection of materials of the National scientific and methodological conference with international participation, March 14–16, 2023, Novosibirsk]*. In 3 parts. Part 1. Novosibirsk: SGUGiT P. 223–228. DOI 10.33764/2618-8031-2023-1-223-227. EDN FTINRL [in Russian].

12. Karpik, A. P. (2004). *Metodologicheskiye i tekhnologicheskiye osnovy geoinformatsionnogo obespecheniya territoriy [Methodological and technological foundations of geoinformation support of territories: monograph]* Novosibirsk: SGGA 260 p. ISBN 5-87693-146-2. EDN QKFJEZ [in Russian].

13. Karpik, A. P., Avrunev, E. I., Dobrotvorskaya, N. I., Dubrovsky, A. V., Malygina, O. I., Popov, V. K. (2019). Organization of the system of geoinformation monitoring of the state of land resources of the coastal zone of the Novosibirsk reservoir // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources. Novosibirsk: collection of materials]*. Tomsk: TPUVol. 330. No. 8. 133–145. DOI 10.18799/24131830/2019/8/2219. EDN BNWNFD [in Russian].

14. Aletdinova, A. A., Arenkov, I. A., Afanasyeva, R. R. et al. (2017). *Tsifrovaya transformatsiya ekonomiki i promyshlennosti: problemy i perspektivy [Digital transformation of the economy and industry: problems and prospects]* St. Petersburg: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University" 807 p. DOI 10.18720/IEP/2017.4. ISBN 978-5-7422-5881-0. EDN ZFCQAV [in Russian].

15. Komov N. V., Sharipov S. A., Nosov S. I. et al. (2021). *Ustoychivoye prostranstvennoye razvitiye : Proyektirovaniye i upravleniye [Sustainable spatial development: Design and management]* M.: Gubarev Evgeny Vladimirovich 752 p. ISBN 978-5-504-01040-3. EDN UGDBYH [in Russian].

16. Bolgova E. V. (2011). Education system in the economic space of the region *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika [Regional economy: theory and practice]*. No. 45 (228). P. 29–37. EDN OJLHUX [in Russian].

17. Efimova, E. G. (2022). Digital transformation of the economy and society: problems and prospects *Ekonomicheskiye issledovaniya i razrabotki [Economic research and development]*. No. 11-2. P. 23–31. - DOI 10.54092/25420208_2022_112_23. EDN TSJZZA [in Russian].

18. Merzlikina, G. S., Mogharbel, N. O., Kozhanova, T. E. (2024). *Strategicheskoye prioritye ustoychivogo razvitiya regiona i biznesa [Strategic priorities for sustainable development of the region and business]* Volgograd: Volgograd State Technical University. 168 p. ISBN 978-5-9948-4963-7. EDN TEFYGR [in Russian].

19. Voronov, A. S. (2019). Spatial approach in the development of socio-economic systems of regions *Gosudarstvennoye upravleniye. Elektronnyy Vestnik [Public administration. Electronic Bulletin]*. No. 75. P. 249–267. EDN BZJMAN [in Russian].

Author details

Alexander P. Karpik – Dr. Sc., Professor, Rector of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (2006-05.02.2025).

Aleksey V. Dubrovsky – Dr. Sc., Associate Professor, Director of the Institute of Cadastre and Environmental Management.

Olesya I. Malygina – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Cadastre and Territorial Planning.

Received 21.04.2025

© *A. P. Karpik*, *A. V. Dubrovsky*, *O. I. Malygina*, 2025

УДК 332

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-143-152

Земли сельскохозяйственного назначения в сельском поселении Карагач Прохладненского района Кабардино-Балкарской Республики

М. Ш. Махотлова¹✉

¹Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова,
г. Нальчик, Российская Федерация

e-mail: m.mahotlova@yandex.ru

Аннотация. Система земельных отношений включает в себя разнообразные аспекты: от правовых и экономических до социальных. Каждая категория участников земельных отношений – от государственных структур до владельцев мелких участков – играет ключевую роль в формировании устойчивого и рационального использования земли. Для достижения этой цели необходимо внедрение современных технологий и методов управления земельными ресурсами, которые помогут минимизировать негативное воздействие на экосистему и обеспечат восстановление плодородия почв за счет организации рационального землевладения и землепользования. Настоящее исследование посвящено анализу и оценке эффективности использования сельскохозяйственных угодий сельского поселения (с. п.) Карагач Прохладненского района Кабардино-Балкарии. В ходе исследования была проведена комплексная работа по сбору и анализу пространственных данных на разные временные периоды. Для этого использовались данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и спутниковый мониторинг с применением геоинформационных систем (ГИС) технологий. Использование ГИС и ДЗЗ позволило не только наглядно отобразить изменения на земельных участках, но и провести глубокий анализ использования сельскохозяйственных угодий. В итоге был разработан детальный план, который отражает текущее состояние земель и потенциальные зоны для развития сельского хозяйства в с. п. Карагач.

Ключевые слова: земельный участок, данные дистанционного зондирования Земли, геоинформационные системы, земельные ресурсы, сельскохозяйственные угодья, сельское хозяйство, земли сельскохозяйственного назначения, землепользование

Для цитирования:

Махотлова М. Ш. Земли сельскохозяйственного назначения в сельском поселении Карагач Прохладненского района Кабардино-Балкарской Республики // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 143–152. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-143-152

Введение

В России за последние двадцать лет произошли значительные изменения в структуре землепользования, обусловленные экономическими факторами. Переход к рыночной экономике привел к пересмотру методов управления земельными ресурсами.

Современное сельское хозяйство все чаще опирается на передовые технологии для повышения эффективности и устойчивости. ГИС становятся незаменимым инструментом

в руках аграриев, позволяя анализировать данные, оптимизировать процессы и принимать взвешенные решения.

Использование алгоритмов анализа больших данных в сочетании с ДЗЗ делает процесс управления землепользованием более прозрачным и адаптивным. Актуальные данные, полученные с помощью ДЗЗ, способны повысить конкурентоспособность отечественных товаров как на внутреннем, так и внешнем рынках [1].

Внедрение передовых технологий в сельское хозяйство способствует повышению

информированности лиц, принимающих решения на всех уровнях, что ведет к оптимизации землепользования и более эффективному управлению финансовыми и материально-техническими ресурсами за счет предоставления достоверной и доступной информации [2].

Это, конечно же, способствует оптимизации земельного участка и эффективному контролю финансовых и технических ресурсов, предоставляя достоверную и доступную информацию.

Целью настоящего исследования является проведение анализа и оценки рационального землепользования на территории с. п. Карагач Прохладненского района Кабардино-Балкарии.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

– разработка метода обмена и обработки пространственных данных для ГИС, который будет основываться на современных геоинформационных стандартах и данных дистанционного зондирования, применительно к землям сельскохозяйственного назначения в с. п. Карагач;

– формирование методических рекомендаций по прогнозированию и планированию использования земель сельскохозяйственного назначения.

Материалы и методы исследования

База землеустроительной информации, охватывающая всю территорию с. п. Карагач, требует серьезного обновления. Устаревшие данные не отражают реального состояния земель, что затрудняет принятие взвешенных решений в области сельского хозяйства и земельного планирования.

В муниципальных образованиях, в том числе в с. п. Карагач, отсутствует актуальная информация о земельных ресурсах сельскохозяйственного назначения. Не проводится регулярная инвентаризация земель, а информация о количестве и качестве земельных ресурсов не актуализируется.

Отсутствие современных исследований почвы и растительности, а также тематиче-

ских карт состояния и использования земель приводит к недостатку информации для принятия обоснованных решений по использованию земельных ресурсов [3].

Проведение анализа земель сельскохозяйственного назначения в с. п. Карагач является необходимым шагом для повышения эффективности сельскохозяйственного производства. Актуальные данные позволят принять взвешенные решения в области землепользования, оптимизировать сельскохозяйственную деятельность и сделать производство более рентабельным.

Для того чтобы решить проблемы, связанные с использованием земли в с. п. Карагач, необходимо провести комплексный анализ.

Применение ГИС-технологий в аграрной сфере села Карагач создаст возможности для более рационального использования земельных ресурсов, повысит производительность сельскохозяйственной продукции, уменьшит риски и поспособствует устойчивому развитию сельскохозяйственного сектора.

Разработка методических положений и создание единой системы управления пространственными данными станет ключевым шагом на пути к реализации инновационного проекта, который принесет значимые экономические и социальные преимущества для всего сельского поселения.

Результаты исследования

Общая площадь земель, относящихся к сельскому населенному пункту, составляет 81,45 км². Большую часть данной площади занимают сельскохозяйственные угодья, а это 68 км² (84 %).

Сельскохозяйственные угодья, занимающие значительную часть территории, являются основным источником дохода для местных жителей и играют ключевую роль в поддержании экономической стабильности населенного пункта [4].

На рис. 1 показана спутниковая карта, отображающая местонахождение с. п. Карагач, который входит в состав Прохладненского района.

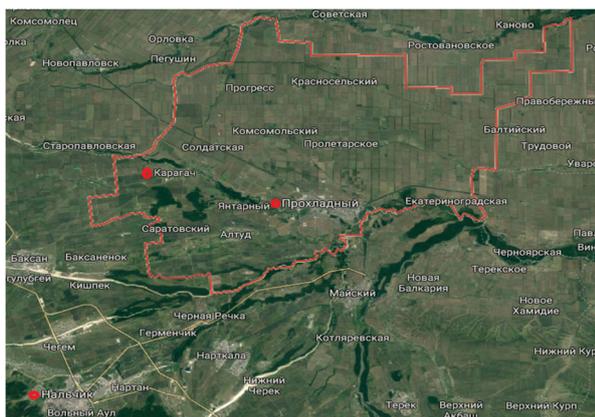


Рис. 1. Спутниковая карта территориального расположения с. п. Карагач

Село Карагач сталкивается с серьезной проблемой: имеющиеся в наличии карты и планы сельхозугодий, принадлежащие различным хозяйствам, являются устаревшими и непригодными для современного земледелия. Созданные в советский период, эти документы отражают реальность давно минувших лет. Они не только не соответствуют актуальному состоянию земельных участков, но и страдают от ряда недостатков, затрудняющих их использование в сельскохозяйственной деятельности.

Во-первых, представленная информация на них крайне ограничена. На картах отображаются лишь границы сельскохозяйственных угодий без детализации их типа и назначения [5].

Во-вторых, отсутствует единая система координат. Это делает невозможным точное определение местоположения объектов на местности и затрудняет создание единой базы данных по сельхозугодьям.

В-третьих, карты используют искаженную топооснову. Неточные границы земельных участков, искаженные размеры полей и неправильное расположение объектов инфраструктуры делают эти карты практически бесполезными для планирования сельскохозяйственной деятельности [6].

Отсутствие современных, точных и актуальных карт сельхозугодий ограничивает возможности развития сельского хозяйства в Карагаче. Для оптимизации землепользования, повышения урожайности и эффективности сельскохозяйственных работ требуется провести обновление картографических материалов. Это позволит:

1) создать единую базу данных по сельхозугодьям: даст возможность эффективно управлять земельными ресурсами, проводить мониторинг состояния почв, планировать посеы и рассчитывать объемы необходимых удобрений;

2) оптимизировать использование земельных ресурсов: рационально распределять земли под различные сельскохозяйственные культуры, учитывая их потребности и особенности климата [7];

3) повысить точность земледелия: использовать сельскохозяйственную технику с GPS-навигацией;

4) снизить затраты на производство сельхозпродукции: сократить потери урожая, оптимизировать использование ресурсов и повысить эффективность сельскохозяйственных работ.

Таким образом, обновление картографических материалов является важным шагом для развития сельского хозяйства в Карагаче. Современные, детальные и точные карты сельхозугодий станут необходимым инструментом для успешного ведения сельского хозяйства.

Для проведения исследований мы выбрали данные, полученные с помощью космической системы (съемки камерой) КФА-1000.

Эти космические снимки являются ценным источником информации о земной поверхности, предоставляя детальную картину ландшафта, растительности, водоемов и других объектов. Для точного определения местоположения и ориентации снимков КФА-1000 была использована топооснова масштаба 1 : 10 000, представляющая собой подробную карту местности. Эта процедура, известная как геопривязка, позволяет точно сопоставить космические снимки с реальной местностью.

Для обработки полученных космических снимков мы использовали специализированный программный продукт ERDAS IMAGINE. Эта мощная система обработки изображений предоставляет широкий спектр инструментов для анализа и интерпретации данных дистанционного зондирования.

В качестве тестового участка для исследования мы выбрали сельское поселение Карагач Прохладненского района Кабардино-Балкарской Республики (рис. 2).

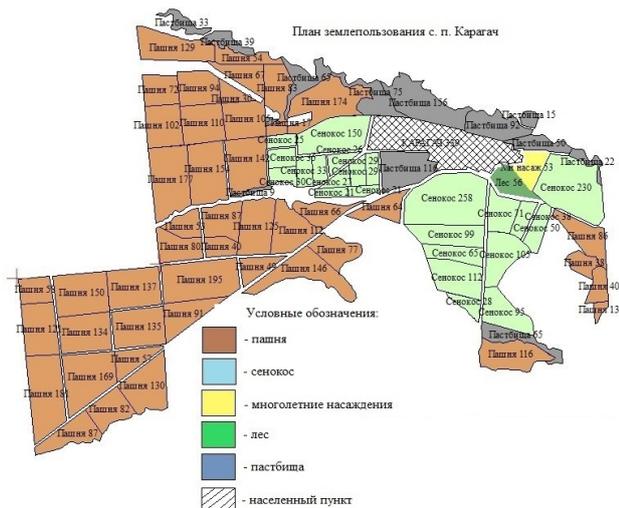


Рис. 2. План землепользования территории с. п. Карагач

Анализ рис. 2 показывает, что наибольшую долю составляют земли, отведенные под сельское хозяйство. С помощью космических снимков КФА-1000 и программного обеспечения ERDAS IMAGINE был проведен детальный анализ типов землевладения в с. п. Карагач. Эта работа позволила уточнить границы и площади различных видов землепользования.

С помощью ERDAS IMAGINE было улучшено качество снимков, проведена геометрическая коррекция, а также выполнены классификация и анализ типов землевладения [8].

Улучшение земельных отношений и экономического роста, включая аграрный сектор, требует тщательного учета и контроля земельных ресурсов [9]. В связи с этим процесс экспликации земель, предназначенных для сельскохозяйственного использования, становится крайне актуальным.

Экспликация земель с. п. Карагач представлена в табл. 1.

Таблица 1
Экспликация земель с. п. Карагач

Площадь сельхозугодий, из них:	тыс. га	7 381
– лесные угодья;	тыс. га	61
– пахотные земли	тыс. га	6 254
Водоёмы	км ²	1 810

Экспликация земель, предназначенных для сельского хозяйства, разработана на основе контурной ведомости, которая включает информацию о земельных участках с указанием названий угодий и их площадей в гектарах. Общая площадь территории Карагачского сельского поселения составляет 81,45 км². Из указанной площади 68 км², или 84 %, занимают земли, используемые для сельскохозяйственной деятельности (т. е. занятые сельскохозяйственными угодьями).

Применяя методы визуального анализа изображений, можно выполнить базовое картографирование. Это позволит исключить необходимость в дополнительных инструментах, которые необходимы для обработки и изучения спутниковых снимков.

На рис. 3 представлена топографическая карта с. п. Карагач.

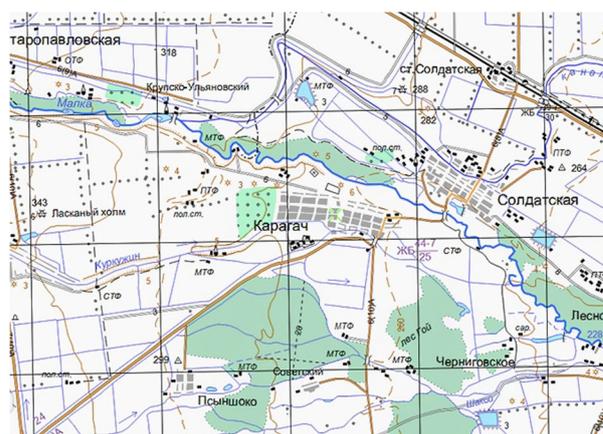


Рис. 3. Топографическая карта территории с. п. Карагач

Топографическая карта помогает местным властям в планировании инфраструктуры, учитывая рельефные особенности региона для улучшения транспортной доступности [9].

Процесс масштабирования строго регулируется установленными нормами, что позволяет минимизировать погрешности в картографических материалах.

«Вектор» представляет собой инструмент, который позволяет отслеживать текущее состояние территории. Благодаря наличию цифровых карт сельскохозяйственных угодий становится возможным применение технологий точного земледелия. Это упрощает про-

цесс экологической сертификации и помогает обнаруживать расхождения между фактическими и кадастровыми данными [10].

На рис. 4 изображена векторная карта Карагачского сельского поселения.

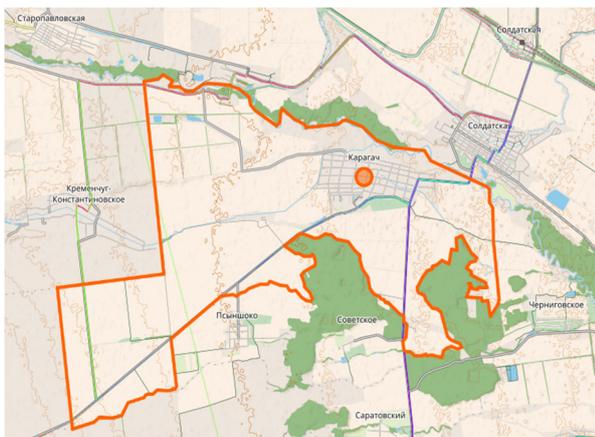


Рис. 4. Сельское поселение Карагач – векторная карта OSM (Open street map); граница нарисована из схемы района

Использование спутниковых снимков, топографических карт и схем землеустройства, созданных в разные периоды и отображающих разные земельные участки, представляет собой мощный инструмент для оцифровки сельскохозяйственных угодий [11]. В процессе оцифровки каждому земельному участку присваивается уникальный идентификатор, автоматически определяется его площадь, а также к каждому участку привязываются соответствующие данные.

Перед тем как начать преобразование растрового плана в векторный, была выполнена привязка растрового изображения. Для этого в пределах земельных участков на местности землепользований были соединены точки, которые легко опознавались как на плане, так и в реальности [12].

С помощью программного обеспечения ArcGIS был осуществлен процесс привязки данных к местности. После того как была выполнена геопривязка растрового изображения к местности, начался процесс преобразования его в векторный формат. Для этого была создана векторная карта на основе исходного растрового изображения [13]. В результате исследований границы земельных участков были скорректированы, а их площадь перераспределена, что позволило получить более точную и актуальную итоговую информацию об исследуемой территории.

Благодаря процедуре векторизации план землепользования с. п. Карагач претерпел значительные изменения (рис. 5).

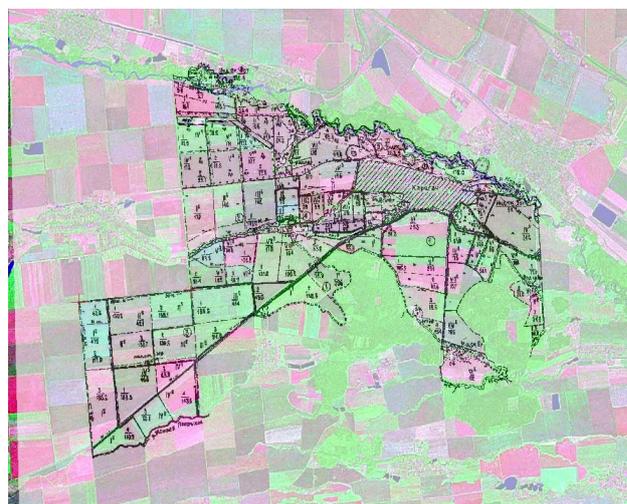


Рис. 5. Векторизация полей сельскохозяйственных угодий с. п. Карагач

Баланс земель с. п. Карагач после проведения векторизации представлен в табл. 2 (показан фрагмент расчета).

Таблица 2

Баланс территорий с. п. Карагач после векторизации

FID	Shape*	id	Вид угодий	Площадь	Название
0	Полигон	0	Пашня	58	Карагач
1	Полигон	0	Пашня	121	Карагач
2	Полигон	0	Пашня	181	Карагач
3	Полигон	0	Пашня	87	Карагач
4	Полигон	0	Пашня	82	Карагач

Окончание таблицы 2

FID	Shape*	id	Вид угодий	Площадь	Название
5	Полигон	0	Пашня	130	Карагач
6	Полигон	0	Пашня	169	Карагач
7	Полигон	0	Пашня	57	Карагач
8	Полигон	0	Пашня	134	Карагач
9	Полигон	0	Пашня	135	Карагач
10	Полигон	0	Пашня	91	Карагач
11	Полигон	0	Пашня	195	Карагач
12	Полигон	0	Пашня	150	Карагач
13	Полигон	0	Пашня	137	Карагач
14	Полигон	0	Пашня	49	Карагач
15	Полигон	0	Пашня	146	Карагач
16	Полигон	0	Пашня	77	Карагач
17	Полигон	0	Пашня	102	Карагач
18	Полигон	0	Пашня	110	Карагач
19	Полигон	0	Пашня	72	Карагач
20	Полигон	0	Пашня	30	Карагач
21	Полигон	0	Пашня	94	Карагач
22	Полигон	0	Пашня	129	Карагач
23	Полигон	0	Пашня	54	Карагач
24	Полигон	0	Пашня	105	Карагач

Анализ представленных в табл. 2 данных позволяет оценить текущее состояние исследуемой территории, а также сформировать стратегию ее дальнейшего развития с решением задачи улучшения жизненных условий населения с. п. Карагач.

Важными факторами такого решения стали детальные описания (экспликации) территории и ее земельных участков, оптимизация их использования, современная модернизация системы государственной регистрации земель и иной недвижимости [14]. В этой связи профессиональный подход к вопросам ее практического использования, качеству кадастровой информации позволит не только улучшить управление землями, но и создать устойчивую инфраструктуру для будущего развития.

Заключение

Обобщая результаты анализа современного состояния сельскохозяйственных угодий с. п. Карагач и оценки их использования на основе новых геопространственных данных, сделаны следующие основные выводы:

– общая площадь таких земель уменьшилась, поскольку часть их была отдана для жилищного строительства;

– для некоторых земельных участков было осуществлено преобразование: в частности, перевод земельного участка с кадастровым номером 07:04:0000001543 из категории сельскохозяйственного назначения (полигон № 26) в категорию земель населенных пунктов;

– изменена категория земельного участка с кадастровым номером 07:04:5200000:5, расположенного на землях сельскохозяйственного назначения (полигон № 80), на земли для строительства и эксплуатации объектов инфраструктуры населенных пунктов; тем самым дан пример более эффективного использования земель населенных пунктов с новыми возможностями для градостроительства и развития общественных благ;

– территориальные границы земель, относящиеся к лесному и водному фондам, остались неизменными;

– изменение количества и границ участков земель сельскохозяйственного назначения увеличилось в результате частичного разделения в ходе рыночной смены их собствен-

ников; этот факт стал очевидным после анализа материалов ДЗЗ;

– результаты исследования в перспективе послужат основой при создании программы устойчивого развития региона, помогут в управлении его ресурсами и в повышении

качества жизни населения [15], а интеграция подобных данных в стратегическом планировании станет важным шагом для достижения социальной и экономической стабильности, открывая новые горизонты возможностей [16] применения ГИС-технологий и ДЗЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аркадьева А. А., Тарабрин А. М. Направления совершенствования проведения мониторинга земель сельскохозяйственного назначения с применением ГИС-технологий // Экологические, правовые и экономические аспекты рационального использования земельных ресурсов : сб. науч. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году экологии в России. – Саратов, 2017. – С. 10–13. – EDN SLZUKT.
2. Большакова С. Ю., Грик А. Р. ГИС-технологий создания плановой основы для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения // Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. – 2017. – С. 189–191.
3. Денисова Е. В. Оценка эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения с применением ГИС-технологий // Исследование Земли из космоса. – 2021. – № 5. – С. 15–24. – DOI 10.31857/S0205961421050031. – EDN OOSGYD
4. Мурыгина В. Н., Шатин А. В., Тарбаев В. А. Актуализация состояния земель сельскохозяйственного назначения с применением ГИС-технологий // Управление объектами недвижимости и развитием территорий : сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 2021. – С. 70–73. – EDN КОЕМАН.
5. Балкизов А. Б., Шаков К. А., Хутов А. А. Эффективность использования земель сельскохозяйственного назначения // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: сб. науч. ст. по материалам X Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти Заслуженного деятеля науки РФ, КБР, Республики Адыгея, профессора Б. Х. Фиапшева. – Нальчик, 2024. – С. 180–183. – EDN XFNGHN.
6. Сотникова А. Е., Оксанич Е. А. Инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения с помощью ГИС-технологий // Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений : сб. науч. ст. по материалам V Всерос. науч.-практ. конф. – Краснодар, 2023. – С. 466–471. – EDN ХМУУРА.
7. Поляков С. А., Калинина Л. А. Теоретические основы регулирования оборота земель сельскохозяйственного назначения // Научно-исследовательская деятельность аспирантов в решении приоритетных задач развития агропромышленного комплекса : сб. науч. ст. по материалам науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию аспирантуры Иркутского ГАУ. – 2023. – С. 298–302. – EDN LDAITI.
8. Шанин С. А. Система взаимодействия в управлении землями сельскохозяйственного назначения в контексте пространственного развития // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2021. – Т. 2, № 12 (82). – С. 41–45. – DOI 10.33938/21122-41. – EDN PMDPMR.
9. Федоринов А. В., Сорокина О. А., Дуплицкая Е. А. Применение ГИС-технологий при инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения // Московский экономический журнал. – 2019. – № 8. – С. 35. – DOI 10.24411/2413-046X-2019-18034. – EDN AKUFWL.
10. Балкизов А. Б., Гуппоева Д. С., Хашукаева А. А. Эффективность функционирования землепользования и состояние земель сельскохозяйственного назначения // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты : сб. науч. ст. по материалам III Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. – Нальчик, 2023. – С. 200–202. – EDN DVJIJF.
11. Семичева Л. А. Проблемы оборота земель сельскохозяйственного назначения // Образование и наука в России и за рубежом. – 2020. – № 8 (72). – С. 15–19.
12. Карашаева А. С., Тимижева О. З. Научно-обоснованное зонирование территории и эффективность использования земли в сельском хозяйстве // Проблемы рационального природо-

пользования и пути их решения : сб. науч. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 45-летию ФГБОУ ВО «ДГТУ». – 2018. – С. 49–52. – EDN YPVLUL.

13. Радзивиллов Я. О. Особенности принудительного изъятия земель сельскохозяйственного назначения // Академическая публицистика. – 2021. – № 6. – С. 367–370. – EDN LJKIJJ.

14. Сасиков А. С., Габоева А. М., Сасиков Т. А. Оценка кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность : сб. науч. ст. по материалам VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти Заслуженному деятелю науки РФ, КБР, Республики Адыгея профессора Б. Х. Фиапшеву. – Нальчик, 2021. – С. 93–96. – EDN EZEDTS.

15. Кутепова А. Д., Земсков И. А. Проблема аренды земельных участков сельскохозяйственного назначения // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – № 3-1 (90). – С. 94–96. – DOI 10.24412/2500-1000-2024-3-1-94-96. – EDN DKPNXM

16. Казиев В. М., Шурдумов А. Х., Машукова М. З. Анализ состояния земель сельскохозяйственного назначения // Современный взгляд на развитие АПК: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. науч. ст. по материалам Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. – Нальчик, 2023. – С. 143–147. – EDN PGGXYU.

Об авторах

Маратина Шагировна Махотлова – кандидат биологических наук, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости.

Получено 26.09.2024

© М. Ш. Махотлова, 2025

Analysis of land redistribution methodology for agricultural use on the example of Karagach Village, the Kabardino-Balkarian Republic, using modern geoinformation techniques

*M. Sh. Makhotlova*¹✉

¹ Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov,
Nalchik, Russian Federation

e-mail m.mahotlova@yandex.ru

Abstract. The system of land relations includes various aspects: from legal and economic to social. Each category of participants in land relations – from government agencies to owners of small plots – plays a key role in shaping sustainable and rational use of land. To achieve this goal, it is necessary to introduce modern technologies and methods of land management that will help minimize the negative impact on the ecosystem and ensure the restoration of soil fertility through the organization of rational land ownership and land use. The present study is devoted to the analysis and evaluation of the efficiency of the use of agricultural land in the rural settlement (village) of Karagach in the Prokhladnensky district of the Republic of Kabardino-Balkaria. In the course of the study, comprehensive work was carried out on the collection and analysis of spatial data for different time periods. For this purpose, data from remote sensing of the Earth (remote sensing) and satellite monitoring using geoinformation systems (GIS) technologies were used. The use of GIS and remote sensing made it possible not only to visually display changes in land plots, but also to conduct an in-depth analysis of the use of agricultural land. As a result, a detailed plan was developed that reflects the current state of the land and potential areas for agricultural development in the village of Karagach.

Keywords: land plot, remote sensing, geoinformation technology, efficient land use

REFERENCE

1. Arkadyeva A. A., Tarabrin A. M. (2017). Directions for improving the monitoring of agricultural lands using GIS technologies. *Ekologicheskiye, pravovyye i ekonomicheskiye aspekty ratsional'nogo ispol'zovaniya zemel'nykh resursov: sb. nauch. st. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. godu ekologii v Rossii. [Ecological, legal and economic aspects of rational use of land resources: Coll. sci. Art. II Int. scientific and practical. conf., dedicated to the year of ecology in Russia]* (pp. 10–13). Saratov. EDN SLZUKT [in Russian].
2. Bolshakova S. Yu., Grik A. R. (2017). GIS technologies for creating a planning basis for monitoring agricultural lands. Rol' molodykh uchenykh v reshenii aktual'nykh zadach APK: sb. nauch. trud. *Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh [The role of young scientists in solving urgent problems of the agro-industrial complex: Coll. sci. work. Int. scientific and practical. conf. of young scientists]*, 189–191 pp. [in Russian].
3. Denisova E. V. (2021) Evaluation of the efficiency of agricultural land use using GIS technologies. *Issledovaniye Zemli iz kosmosa [Earth exploration from space]*. No. 5, 15–24 pp. DOI 10.31857/S0205961421050031. EDN OOSGYD [in Russian].
4. Murygina V. N., Shatin A. V., Tarbaev V. A. (2021) Updating the state of agricultural lands using GIS technologies. *Upravleniye ob'yektami nedvizhimosti i razvitiyem territoriy: sb. st. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Saratov, [Management of real estate and territorial development: Coll. Art. V Int. scientific-practical. Conf.]* (pp. 70–73). Saratov. EDN KOEMAN [in Russian].
5. Balkizov A. B., Shakov K. A., Khutov A. A. (2024) Efficiency of agricultural land use. Agricultural land use and food security: Coll. Art. based on the materials of the X Int. scientific-practical. *Sel'skokhozyaystvennoye zemlepol'zovaniye i prodovol'stvennaya bezopasnost': sb. nauch. st. po materialam KH Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. pamyati Zasluzhennogo deyatelya nauki RF, KBR, Respubliki Adygeya, professora B. KH. Fiapsheva [Conf., dedicated to the memory of Honored Scientist of the Russian Federation, KBR, Republic of Adygea, Professor B.Kh. Fiapshev]* (pp. 180–183). Nalchik. EDN XFNGHH [in Russian].
6. Sotnikova A. E., Oksanich E. A. (2023) Inventory of agricultural lands using GIS technologies. *Sovremennyye problemy i perspektivy razvitiya zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy: sb. nauch. st. po materialam V Vseros. nauch.-prakt. konf. [Modern problems and prospects for the development of land and property relations: collection of scientific articles based on the materials of the V All-Russian scientific and practical conference]* (pp. 466–471). Krasnodar. EDN XMUYRA [in Russian].
7. Polyakov S. A., Kalinina L. A. (2023) Theoretical foundations for regulating the turnover of agricultural lands. *Nauchno-issledovatel'skaya deyatelnost' aspirantov v reshenii prioritnykh zadach razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: sb. nauch. st. po materialam nauch.-prakt. konf., posvyashch. 70-letiyu aspirantury Irkutskogo GAU. [Research activities of postgraduate students in solving priority problems of the development of the agro-industrial complex: collection of scientific articles based on the materials of the scientific and practical conference, dedicated to the 70th anniversary of the postgraduate school of the Irkutsk State Agrarian University]*, 298–302 pp. EDN LDAITI [in Russian].
8. Shanin S. A. (2021) The system of interaction in agricultural land management in the context of spatial development. *Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve. [Economy, labor, management in agriculture]*. Vol. 2, No. 12 (82). 41–45 pp. DOI 10.33938/21122-41. EDN PMDPMR [in Russian].
9. Fedorinov A. V., Sorokina O. A., Duplitskaya E. A. (2019) Application of GIS technologies in the inventory of agricultural land. *Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal. [Moscow Economic Journal.]* No. 8. 35 pp., DOI 10.24411/2413-046X-2019-18034. EDN AKUFWL [in Russian].
10. Balkizov A. B, Guppoeva D. S, Khashukaeva A. A. (2023) Efficiency of land use and the state of agricultural land. *Aktual'nyye problemy agrarnoy nauki: prikladnyye i issledovatel'skiye aspekty: sb. nauch. st. po materialam III Vseros. (natsional'noy) nauch.-prakt. konf. [Actual problems of agricultural science: applied and research aspects: collection of scientific articles based on the mate-*

rials of the III All-Russian (national) scientific and practical conf]. (pp. 200–202). Nalchik. EDN DVJIJF [in Russian].

11. Semicheva L. A. (2020) Problems of agricultural land turnover. *Obrazovaniye i nauka v Rossii i za rubezhom [Education and Science in Russia and Abroad]*. No. 8 (72). 15–19 pp. [in Russian].

12. Karashaeva A. S., Timizheva O. Z. (2018) Scientifically based zoning of the territory and the efficiency of land use in agriculture. *Problemy ratsional'nogo prirodopol'zovaniya i puti ikh resheniya: sb. nauch. st. po materialam Vseros. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 45-letiyu FGBOU VO «DGTU»*. [Problems of rational nature management and ways to solve them: collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 45th anniversary of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "DSTU"], 49–52 pp. EDN YPVLUL [in Russian].

13. Radzivilov Ya. O. (2021) Features of the forced seizure of agricultural land. *Akademicheskaya publitsistika [Academic journalism]*. No. 6. 367–370 pp. EDN LJKIJJ [in Russian].

14. Sasikov A. S., Gaboeva A. M., Sasikov T. A. (2021) Assessment of the cadastral value of agricultural land. *Sel'skokhozyaystvennoye zemlepol'zovaniye i prodovol'stvennaya bezopasnost': sb. nauch. st. po materialam VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. pamyati Zasluzhennomu deyatelyu nauki RF, KBR, Respubliki Adygeya professora B.KH. Fiapshevu [Agricultural land use and food security: collection of scientific articles based on the materials of the VII Int. scientific and practical. conf., dedicated to the memory of the Honored Scientist of the Russian Federation, the Kabardino-Balkarian Republic, the Republic of Adygea, Professor B.Kh. Fiapshev]* (pp. 93–96). Nalchik. EDN EZEDTS [in Russian].

15. Kutepova A. D., Zemskov I. A. (2024). The problem of leasing agricultural land. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i yestestvennykh nauk. [International journal of humanitarian and natural sciences]*. No. 3-1 (90). 94–96 pp. DOI 10.24412/2500-1000-2024-3-1-94-96. EDN DKPNXM [in Russian].

16. Kaziyev V. M., Shurdumov A. Kh., Mashukova M. Z. (2023) Analysis of the state of agricultural land. *Sovremennyy vzglyad na razvitiye APK: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sb. nauch. st. po materialam Vseros. (natsional'noy) nauch.-prakt. konf. [A modern view of the development of the agro-industrial complex: current issues, achievements and innovations: collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical conf]*. (pp. 143-147). Nalchik. EDN PGGXYU [in Russian].

Author details

Maratina Sh. Makhotlova – Ph. D., Associate Professor, Department of Land Management and Real Estate Expertise.

Received 26.09.2024

© M. Sh. Makhotlova, 2025

УДК 349.4

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-153-167

Судебная отмена генеральных планов в порядке абстрактного нормоконтроля: справедливость решений с учетом соразмерности последствий

Ю. В. Саенко¹, Д. В. Пархоменко^{1,✉}, И. В. Саенко², И. В. Пархоменко^{1,3}

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Адвокатская палата Иркутской области, г. Иркутск, Российская Федерация

³ Управление Федеральной службы государственной регистрации кадастра и картографии по Новосибирской области, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: dara8@inbox.ru

Аннотация. Генеральные планы утверждаются на десятилетия; они должны являться основой для формирования земельно-имущественных отношений, инвестиционной деятельности и градостроительного развития. Их судебная отмена нередко порождает ряд серьезных правовых и социально-экономических проблем, в том числе связанных с защитой интересов лиц, уже реализовавших свои права в соответствии с положениями таких документов территориального планирования. В статье описан комплексный подход к анализу проблемы, сочетающему теоретические аспекты абстрактного нормоконтроля с практическими вопросами защиты прав участников земельно-имущественных отношений. Авторами предлагаются меры по совершенствованию законодательства, направленные на обеспечение справедливости и правовой определенности в сфере градостроительного регулирования.

Ключевые слова: землеустройство, рациональное землепользование, генеральный план, правила землепользования и застройки, абстрактный нормоконтроль, отмена генерального плана

Для цитирования:

Саенко Ю. В., Пархоменко Д. В., Саенко И. В., Пархоменко И. В. Судебная отмена генеральных планов в порядке абстрактного нормоконтроля: справедливость решений с учетом соразмерности последствий // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 153–167. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-153-167

Введение

Актуальность темы исследования обусловлена сложностью правовых коллизий, возникающих в связи с судебной отменой генеральных планов в порядке абстрактного нормоконтроля, в ситуациях, когда с момента их утверждения прошло значительное время. Учитывая наличие разных подходов к пониманию абстрактного нормоконтроля [1], следует оговориться, что в настоящей статье под ним будет пониматься проверка оспариваемого нормативного акта, утверждающего генеральный план, на предмет его соответствия нормативному правовому акту более высокого уровня (Градостроительному кодексу

(ГрК РФ) и другим нормативно-правовым актам), когда проверка нормативного акта обусловлена обращением уполномоченного субъекта о такой проверке, а целью самого судебного разбирательства выступает оценка соответствующего акта.

Целью настоящей работы является анализ проблем судебной отмены решений об утверждении генеральных планов в порядке абстрактного нормоконтроля с учетом принципа соразмерности последствий такой отмены [2]. В работе доказывается, что лица, реализовавшие свои земельно-имущественные права на основании генерального плана, подлежащего отмене, должны признаваться заинтересованными участниками судебного

процесса при его оспаривании в порядке абстрактного нормоконтроля. Это позволит обеспечить баланс между публичными интересами, связанными с законностью градостроительной документации, и частными интересами граждан и организаций, которые действовали в рамках правового регулирования. Наряду с этим, принимая во внимание сложности рассмотрения административных дел с большим количеством участников, предлагается внедрение в законодательство механизма досудебной санации генеральных планов, который позволит учитывать факт их реализации и минимизировать негативные последствия их отмены.

Генеральные планы (генпланы) и правила землепользования и застройки (ПЗЗ) являются ключевыми документами в системе градостроительного регулирования [3]. Они определяют долгосрочное развитие территорий, устанавливая правовые режимы использования земельных участков и объектов капитального строительства. Однако в случаях их отмены в порядке абстрактного нормоконтроля нередко возникают негативные правовые и социально-экономические последствия, особенно для лиц, которые уже реализовали свои права на основании этих документов.

Методы и материалы

Судебная процедура исключения объектов недвижимости из границ населенного пункта оказывает непосредственное влияние на права и обязанности их правообладателей, учитывая, что, в отличие от процедуры утверждения генплана, судебное решение способно изменить характеристики землепользования. В результате судебной отмены соответствующие изменения уже не рассматриваются с позиции *перспективного планирования*, генплан отменяется в силу *неотвратимости исполнения* судебного решения, одновременно с этим *изменяя характеристики спорных территорий*.

Подход к справедливому разрешению таких ситуаций был предложен Конституционным Судом РФ (Постановление Конституционного Суда РФ от 22.09.2023 № 45-П – URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_458120/. – Текст : электронный (Постановление КС РФ №45-П)). Он заключается в отказе от формализма при рассмотрении судами административных дел, относящихся к данной категории споров, предложении более детального исследования их фактических обстоятельств и принятии судебных решений с учетом последствий реализации генпланов при соблюдении баланса частных и публичных интересов.

Высшая судебная инстанция рассмотрела спор на примере одной из наиболее острых проблем современности, которая заключается в несогласованном включении земель лесного фонда в состав населенных пунктов в условиях, когда уполномоченный орган в области лесных отношений в установленный законом срок не предоставил своего заключения на соответствующий проект генплана (ни положительного, ни отрицательного). Чаще всего такое затягивание сроков согласования связано с коллизиями, возникающими при определении местоположения границ земель лесного фонда.

Стоит отметить, что именно этим в свое время и было обусловлено принятие федерального закона о так называемой лесной амнистии (О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в целях устранения противоречий в сведениях государственных реестров и установления принадлежности земельного участка к определенной категории земель : федеральный закон от 29.07.2017 № 280-ФЗ. – https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221238/ – Текст : электронный) [4], посредством которого государство признало и попыталось устранить многочисленные несоответствия между данными, зафиксированными в государственном лесном реестре, лесных планах субъектов РФ, и сведениями, содержащимися в Едином государственном реестре недвижимости (ЕГРН). Однако для исправления значительного объема ошибок потребуется довольно продолжительный период, поскольку дублирующие сведения о лесном фонде, как оказалось, охватывают сотни миллионов гектар [5].

В то же время, несмотря на незавершенность процесса синхронизации данных государственных информационных ресурсов,

включая Федеральную государственную географическую информационную систему «Единая цифровая платформа "Национальная система пространственных данных"», муниципалитеты обязаны оперативно решать свои социально-экономические задачи, связанные с развитием территорий, и законодатель поддерживает эту позицию.

Так, согласно буквальному смыслу частей 7 и 8 статьи 25 ГрК РФ, предусмотрена возможность согласования проекта генплана по умолчанию (при отсутствии возражений в установленный срок), что направлено на защиту муниципальных образований от необоснованного затягивания процедуры. Однако на практике уполномоченные органы в сфере лесных отношений нередко уклоняются от своевременного согласования проектов генпланов, ссылаясь на неопределенность в установлении границ земель лесного фонда. Суды также воздерживаются от признания сроков согласования пресекательными (апелляционное определение судебной коллегии по административным делам Второго апелляционного суда общей юрисдикции от 15.06.2021 № 66а-702/2021; кассационное определение судебной коллегии по административным делам Седьмого кассационного суда общей юрисдикции от 29.06.2022 № 88а-10115/2022; апелляционное определение Судебной коллегии по административным делам Верховного Суда РФ от 29.09.2016 № 66-АПГ16-12; определение Судебной коллегии по административным делам Верховного Суда РФ от 18.05.2017 № 66-АПГ17-14; апелляционное определение Судебной коллегии по административным делам Верховного Суда РФ от 26.05.2016 № 33-АПГ16-10), избегая ответственности за создание рисков необоснованной утраты лесного фонда страны [6].

В связи с этим, несмотря на буквальный смысл положений частей 7 и 8 статьи 25 ГрК РФ, в Постановлении КС РФ №45-П были поддержаны выводы сложившейся судебной практики. Суть позиции Конституционного Суда РФ заключается в следующем. Включение земель лесного фонда в состав населенных пунктов влечет не только изменение их категории, но и правового статуса. Это является самостоятельным основанием для при-

знания недействительными актов об отнесении земель к категориям или их переводе из одной категории в другую. Срок для согласования генеральных планов не может считаться пресекательным, поскольку требуется проверка соответствия их положений законодательству в сфере лесных отношений, обладающему большей юридической силой. Гарантии прав муниципалитетов в таких ситуациях обеспечиваются возможностью судебного оспаривания бездействия государственных органов, а в случае их несогласия с проектом генерального плана – отстаиванием своей позиции в рамках согласительных процедур (части 9–11 статьи 25 ГрК РФ). При недостижении согласия спор подлежит разрешению в судебном порядке.

В то же время, осознавая правовые последствия судебной отмены такого специфического нормативного правового акта, как генпланы, Конституционный Суд РФ в том же постановлении разъяснил, что в случаях, когда с момента его утверждения прошел существенный срок, признание его недействующим в части включения земель лесного фонда в границы населенных пунктов допустимо только на основе сбалансированного учета экологических, экономических, социальных и иных факторов. Особое внимание при этом должно уделяться оценке реальной значимости возвращения земель в состав лесного фонда, особенно если участки уже были предоставлены для целей, которые не могут быть реализованы на землях лесного фонда. Формальное признание судом решения об утверждении генерального плана недействующим в таких случаях недопустимо. Суды обязаны всесторонне оценивать последствия такого решения для лиц, проживающих или осуществляющих деятельность на территории населенных пунктов, с учетом всех фактических обстоятельств. Такой подход предполагает *возможность вариативного решения* вопроса в отношении отдельных границ территорий, что позволяет защитить права частной собственности, права на жилище, права на осуществление предпринимательской деятельности и иные права (*вариативный подход в отношении отдельных границ территорий*).

Апробация предложенного высшей судебной инстанцией *вариативного подхода в отношении отдельных границ территорий* состоялась 29.02.2024 при новом рассмотрении административного дела Вторым апелляционным судом общей юрисдикции в отношении части решения об утверждении генерального плана Кыштымского городского округа, в состав которого входят 13 населенных пунктов (апелляционное определение Второго апелляционного суда общей юрисдикции от 29.02.2024 № 66а-89/2024). Признавая недействительность процедуры перевода земель из одной категории в другую, суд с целью оценки последствий такого решения с учетом фактической реализации генерального плана истребовал дополнительные доказательства:

а) от Департамента лесного хозяйства:

– доказательства пересечения земель лесного фонда с землями населенных пунктов, указанными в иске;

– доказательства ценности спорных территорий для целей лесного фонда, включая сведения о земельных участках, предоставленных гражданам и юридическим лицам для целей, не связанных с использованием лесов;

б) от Собрания депутатов городского округа:

– выкопировки из карт функциональных зон ранее действовавшего и оспариваемого генеральных планов с отображением включенных в их состав территорий земель лесного фонда, с указанием границ функциональных зон и их наименований;

– выкопировки из карт градостроительного зонирования с отображением земельных участков, предоставленных физическим и юридическим лицам, с указанием кадастровых номеров, размеров, оснований предоставления, а также сведений о передаче их в собственность с указанием правоустанавливающих документов, дат передачи и регистрации прав в ЕГРН;

– доказательства фактического использования каждого из сформированных на землях лесного фонда земельных участков, переданных гражданам и юридическим лицам, а также иных земель лесного фонда, вошедших в состав населенных пунктов, с указанием объектов, расположенных на данных участках;

– доказательства того, что возвращение спорных территорий в земли лесного фонда приведет к нарушению баланса публичных и частных интересов.

В ответ на судебный запрос Собрание депутатов городского округа предоставило выкопировки из карты функциональных зон оспариваемого генерального плана и карты градостроительного зонирования Правил землепользования и застройки с отображением территории земель лесного фонда, сопроводив их соответствующими пояснениями [7].

На основании представленных документов суд установил, что часть спорных территорий планируется использовать для развития индивидуального жилищного строительства, другая часть уже предоставлена гражданам и фактически используется для этих целей. На некоторых участках расположены железная дорога, муниципальный санаторий, кладбище. Также были выявлены территории, отведенные под садоводство, овощеводство, развитие туризма, размещение очистных сооружений, промышленных и иных объектов. В свою очередь, административный истец не представил опровержений представленным доводам и доказательствам.

Уточнив все необходимые обстоятельства по делу, апелляционный суд пришел к выводу, что частичное использование земель лесного фонда, включенных в границы населенных пунктов, а также наличие планов по их дальнейшему развитию в качестве земель населенных пунктов препятствует их возвращению в категорию земель лесного фонда. Также было учтено, что истец не предоставил доказательств ценности спорных территорий в качестве земель лесного фонда – они не относятся к ценным или особо ценным лесам, а входят в категорию защитных лесов, где разрешена рубка. Кроме того, суд обратил внимание, что материалы лесоустройства 2012 г. не соответствуют реальной ситуации даже по состоянию на 1990 г., когда на части спорных территорий уже были возведены жилые дома.

В результате применения *вариативного подхода в отношении отдельных границ территорий*, предложенного Конституционным Судом РФ, суд апелляционной инстанции определил следующее:

– решение об отказе в удовлетворении иска о признании недействующим решения об утверждении генерального плана в отношении части территорий было оставлено без изменений;

– в отношении другой части земель, которые никому не предоставлены, фактически не используются и не планируются к освоению муниципалитетом, иск административного ответчика был удовлетворен.

Логично предположить, что после успешной апробации предложенного Конституционным Судом РФ *вариативного подхода в отношении отдельных границ территорий* суды начнут применять его для разрешения аналогичных споров. Однако этого не произошло – необходимого распространения данный подход не получил, что подтверждается последующей судебной практикой. Суды продолжили отменять генпланы в порядке абстрактного нормоконтроля, не углубляясь в анализ обстоятельств их фактической реализации и ограничиваясь лишь изменением даты признания их недействительными – с даты утверждения оспариваемого нормативного правового акта на дату вступления в силу судебного решения по его отмене (апелляционное определение Пятого апелляционного суда общей юрисдикции от 18.04.2024 № 66а-242/2024; кассационное определение Третьего кассационного суда общей юрисдикции от 06.05.2024 № 88а-8297/2024; апелляционное определение Пятого апелляционного суда общей юрисдикции от 21.08.2024 по делу № 66а-1038/2024 и др.).

Также следует отметить, что положения *постановления КС РФ № 45-П* не могут автоматически распространяться на аналогичные спорные ситуации, возникающие в *других аспектах*, кроме тех, что связаны с землями лесного фонда. При этом такое распространение объективно необходимо. Осознавая это, Конституционный Суд РФ напомнил, что право федерального законодателя на совершенствование оспариваемых норм права в части правового регулирования процедуры согласования проекта генерального плана остается неизменным.

Проблема возникновения негативных последствий судебной отмены генеральных планов в значительной степени связана не

только с многочисленными пересечениями границ земель населенных пунктов с землями лесного фонда, но и с аналогичными ситуациями, возникающими в отношении особо охраняемых природных территорий [8], а также других земель, относящихся к различным формам публичной собственности. Кроме того, нередки случаи отмены генпланов по иным основаниям, таким как отсутствие согласования уполномоченного органа на включение в границы населенных пунктов земель сельскохозяйственного назначения, принадлежащих частным собственникам, или нарушения процедуры проведения публичных слушаний.

Последствия отмены генпланов варьируются в зависимости от степени тяжести допущенных при их принятии нарушений, а также от их влияния на публичные и частные интересы [9]. Например, в случае незаконного включения в границы населенного пункта земель лесного фонда у частных собственников, построивших на таких участках жилые дома, возникают риски истребования земельных участков в пользу РФ с последующими требованиями сноса построек [10].

В то же время, если в состав населенного пункта незаконно включены земли, на которые публичный собственник не заявляет своих прав, то отмена генерального плана влечет возврат этих земель в категорию, где запрещено строительство индивидуальных жилых домов (например, земли сельскохозяйственного назначения [11]). В этом случае у частных собственников, полагавшихся на достоверность генплана, могут возникнуть серьезные риски нарушения их прав и законных интересов, которые включают отказы в присвоении адресов жилым домам, а также судебные тяжбы с требованиями сноса построек.

Учитывая изложенное, в целях защиты конституционных прав и свобод, гарантированных ст. 8 (ч. 2), 9, 36 (ч. 2, 3), 42 и 132 (ч. 3) Конституции РФ, представляется целесообразным повсеместно распространить рассмотренный выше *вариативный подход в отношении отдельных границ территорий* на защиту интересов всех лиц, полагавшихся на достоверность оспариваемых генпланов.

Такой подход, вне зависимости от оснований отмены генпланов в порядке абстрактного нормоконтроля, должен всегда применяться с учетом последствий принятых судебных решений. К сожалению, в настоящее время суды не следуют этой логике, что приводит к значительным нарушениям прав граждан и юридических лиц.

Кроме этого, особую озабоченность вызывает отсутствие у лиц, пострадавших от судебной отмены генпланов, возможности своевременной защиты своих прав. Лица, имеющие права на расположенное в спорной части границ генплана недвижимое имущество, лишены возможности участвовать в судебных процессах по их отмене. Суды отказывают им в признании заинтересованными лицами, ссылаясь на абстрактный характер судебного нормоконтроля, что лишает их права высказать свою позицию, представить доказательства, подтверждающие их законные права и интересы.

Исключением из этой практики стал недавний случай, связанный с отменой генплана муниципального образования Уютненского сельского поселения Сакского района Республики Крым, утвержденного решением Сакского районного совета Республики Крым в ноябре 2018 г.

Правообладателям недвижимого имущества, расположенного в границах спорной территории (далее – *правообладатели недвижимости*), удалось доказать в суде кассационной инстанции (определение Четвертого кассационного суда общей юрисдикции от 24.08.2023 по делу № 2а-164/2022), что их права нарушаются, и добиться признания заинтересованными лицами. При повторном рассмотрении дела Верховным Судом Республики Крым суд привлек в качестве заинтересованных лиц *правообладателей недвижимости*. Но желаемого результата это, к сожалению, не принесло: факты нарушения их прав суд проигнорировал. Однако у *правообладателей недвижимости* появились возможности на отстаивание своих прав в последующих судебных инстанциях.

В январе 2025 г. Судебная коллегия по административным делам Верховного Суда РФ признала законным определение о привлече-

нии в качестве заинтересованных лиц по данному делу *правообладателей недвижимости*, расположенной в границах оспариваемого генплана. Однако после письменного обоснования коллегией своего решения стало очевидно, что этот случай был первым и станет последним в отечественной истории (кассационное определение Судебной коллегии по административным делам Верховного Суда РФ от 15.01.2025 №127-КАД24-4-К4 по кассационной жалобе Совета министров Республики Крым на кассационное определение судебной коллегии по административным делам Четвертого кассационного суда общей юрисдикции от 24.08.2023 по административному делу № 2а-164/2022 по административному исковому заявлению заместителя прокурора Республики Крым в интересах неопределенного круга лиц). Из кассационного определения явствует, что коллегия в действительности не считает их заинтересованными лицами по данному делу, но оставляет в силе решение об их привлечении в процесс, так как отмена незаконного судебного акта автоматически повлечет отмену решения суда первой инстанции, уже рассмотревшего дело повторно с участием *правообладателей недвижимости*, привлеченных к участию в процессе и давших свои пояснения и возражения по оспариваемым нормативным актам.

Такое объяснение противоречиво: незаконные судебные акты должны отменяться, а не оправдываться неудобствами, связанными с необходимостью пересмотра дел. Предметом рассмотрения Верховного Суда РФ был именно вопрос законности нового состава участников административного процесса, в который были привлечены заинтересованные правообладатели недвижимости. Но по мнению высшей судебной инстанции, данный факт не имеет правового значения. Другими словами, необоснованное привлечение к участию в процессе *посторонних лиц*, не имеющих отношения к процессу, вполне допустимо.

По нашему мнению, такой подход не является верным, поскольку он вступает в противоречие со значительным количеством норм, регламентирующих рассмотрение административных споров (ч. 1, 3 ст. 3, ч. 2 ст. 6,

ст. 8, ст. 9, ст. 37, ст. 45, ст. 47, ст. 62, ст. 63, ст. 68 ГрК РФ), обесценивая их значение. Кроме того, принятием противоречивого судебного акта Верховный Суд РФ открыл доступ к материалам административного дела незаконному, по их мнению, составу участников.

Основные постулаты, на которых Верховный Суд РФ обосновал незаконность участия правообладателей недвижимости в административном процессе, заключаются в следующем:

а) вопрос о правах и обязанностях конкретных лиц судом фактически не рассматривался, в связи с чем привлечение этих лиц к участию в административном деле не являлось необходимым;

б) привлечение данных лиц к судебному процессу повлекло бы необходимость вовлечения в административное дело *неопределенного круга лиц*, на которых распространяется действие оспариваемого нормативного правового акта, что противоречит задачам судопроизводства при рассмотрении дела в порядке абстрактного нормоконтроля.

Такое обоснование представляется спорным:

– в рассматриваемом споре не шла речь и не заявлялись требования о привлечении к участию в судебном процессе *неопределенного круга лиц*. Определениями Верховного Суда Республики Крым по делу № 2а-232/2023 к участию в деле в качестве заинтересованных лиц на стороне административного ответчика были привлечены *конкретные правообладатели недвижимости*, расположенной в границах населенного пункта. Их права затрагиваются судебным решением, поскольку они освоили земельные участки в период действия оспариваемого генплана на протяжении длительного времени;

– указанных лиц нельзя причислить к неопределенному кругу в значении, данном в определении Судебной коллегии по гражданским делам Верховного Суда РФ от 05.02.2018 №41-КГ17-38, где сказано, что «под неопределенным кругом лиц следует понимать такой круг лиц, который *невозможно индивидуализировать (определить)*, привлечь в процесс в качестве истцов, указать

в решении, а также решить вопрос о правах и обязанностях каждого из них при разрешении дела» (определение Судебной коллегии по гражданским делам Верховного Суда РФ от 05.02.2018 №41-КГ17-38). В данном же случае круг правообладателей объектов недвижимости является определенным, учитывая нижеприведенные сведения о фактических обстоятельствах.

Объекты недвижимости расположены в пространственно-определенных границах территории [12] согласно генплану 2018 г. Данные об их правообладателях учтены в государственных информационных системах и доступны судам. С точки зрения реальной возможности идентификации определенного круга правообладателей объектов недвижимости известно следующее:

а) правообладатели недвижимости, расположенной в границах оспариваемого генплана, наделены правом участия в общественных обсуждениях или публичных слушаниях по проектам генеральных планов и ПЗЗ (ч. 2 ст. 5.1 ГрК РФ), где предусмотрена и успешно применяется процедура *определения* данного круга участников, в том числе с использованием единой системы *идентификации и аутентификации* (п. 12, 13, 19 ст. 5.1 ГрК РФ);

б) они же *наделены правом оспаривания* генпланов в судебном порядке, когда их права и законные интересы нарушаются или могут быть нарушены в результате их утверждения (ч. 15 ст. 24 ГрК РФ);

в) возможность рассмотрения спора с привлечением в процесс указанных лиц *доказана* эмпирическим путем (Верховный Суд Республики Крым: административное дело № 2а-232/2023).

При таких обстоятельствах отождествление *определенного круга правообладателей* недвижимости, расположенной в границах оспариваемого генплана, права которых непосредственно затрагиваются его отменой, с *неопределенным кругом лиц*, на который генплан лишь распространяет свое действие, на наш взгляд, обусловлено недопониманием специфики спорных правоотношений, в том числе их «двухрежимной природы».

Также судам следует учитывать *специфику спорных правоотношений*, а именно то

обстоятельство, что такие документы, как генеральные планы и ПЗЗ, устанавливают *специальные* правовые режимы для *конкретного* объекта публичного права, а потому их нормы *обязательны* для круга лиц, который возможно индивидуализировать (определить). В то же время они *могут являться обязательными* и для неопределенного круга лиц (О практике рассмотрения судами дел об оспаривании нормативных правовых актов и актов, содержащих разъяснения законодательства и обладающих нормативными свойствами : Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 25.12.2018 № 50. – https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_314764/ – Текст : электронный).

На «двухрежимную» природу генеральных планов указывает также пункт 1 статьи 5.1. ГрК РФ, где цели проведения общественных обсуждений или публичных слушаний по проектам генпланов и ПЗЗ изначально разделены законодателем на общую и индивидуальную:

а) *общая цель* направлена на защиту прав и законных интересов неопределенного круга лиц и выражена в необходимости обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности;

б) *индивидуальная цель* направлена на защиту прав и законных интересов субъектов конкретных правоотношений, т. е. определенного круга лиц, и выражена в необходимости соблюдения прав и законных интересов *правообладателей земельных участков и объектов капитального строительства* [13].

Игнорирование судами факта «двухрежимности» (общей и индивидуальной) градостроительных нормативных правовых актов, утверждающих проекты генпланов и ПЗЗ, способно привести к формированию порочной судебной практики, блокирующей возможность разрешения дел по существу посредством анализа юридической природы оспариваемых актов.

Следует полагать, что наделение правообладателей недвижимости правом участия *во всех судебных процессах* по вопросам оспаривания генпланов и ПЗЗ, в том числе с правом их защиты, основано на принципе равноправия участников градостроительных отноше-

ний, а потому соответствует истинной воле законодателя.

Генпланы и ПЗЗ существенно отличаются от других нормативных правовых актов: регулируемые ими вопросы, а также процедурные вопросы их принятия, изменения и отмены непосредственно сопряжены с правом участия в них определенного законом субъектного состава на основе равноправия.

Пунктами 5 и 10.1 ст. 2 ГрК РФ, установлены основополагающие принципы градостроительной деятельности, заключающиеся в *единстве требований* к порядку осуществления взаимодействия субъектов градостроительных отношений и обеспечении свободы участия граждан и их объединений в осуществлении градостроительной деятельности. Согласно ст. 5 ГрК РФ, Российская Федерация, субъекты РФ, муниципальные образования, физические и юридические лица являются *равными субъектами* градостроительных отношений. Поэтому именно *через призму равенства* всех участников градостроительных правоотношений следует рассматривать *функции и полномочия* каждого из названных субъектов.

Так, например, учитывая, что протоколы и заключения, составленные по результатам общественных обсуждений или публичных слушаний по проектам генпланов и ПЗЗ, признаются *неотъемлемыми приложениями к проектам генпланов и ПЗЗ*, следует признать факт наделения правообладателей земельных участков и объектов капитального строительства *регуляторной функцией* при принятии данных нормативных правовых актов в отношении пространственно-определенных объектов публичного права (ч. 11, 12 ст. 24, ч. 15 ст. 31 ГрК РФ). Это означает, что правообладатели объектов недвижимости, расположенной в границах территории, в отношении которой формируется градостроительная документация, выступают в градостроительных отношениях одновременно как:

– регуляторы общественных отношений, в том смысле, что они являются участниками процесса принятия соответствующих решений;

– потенциально «пострадавшие» лица [14], в том смысле, что их права и законные

интересы могут быть нарушены в результате нарушения законодательства о градостроительной деятельности.

При этом РФ, ее субъекты и муниципальные образования также выступают в градостроительных отношениях в двух аналогичных качествах:

- и как регуляторы общественных отношений;

- и как заказчики, подрядчики градостроительной деятельности, а также как собственники имущества, находящегося в их пользовании, владении и распоряжении: здесь они действуют на паритетных началах с другими участниками градостроительной деятельности, что означает возможность их отнесения к «пострадавшим лицам» [15].

В связи с чем логичным и обоснованным видится вывод о том, что истинная воля законодателя заключалась в наделении указанных субъектов права, наряду с регуляторной функцией, и правом судебного оспаривания генерального плана и *объективно корреспондирующим* ему правом его судебной защиты. Иное истолкование означало бы нарушение конституционных прав и свобод, гарантированных ст. 8 (часть 2), 19 (части 1 и 2), 132 (часть 3) Конституции РФ.

По смыслу ст. 3 Конституции РФ народ является единственным источником власти в РФ и вправе осуществлять свою власть не только через органы государственной власти, но и непосредственно. Согласно ст. 12 Конституции РФ народу гарантирована самостоятельность органов местного самоуправления, которые не входят в систему органов государственной власти. При этом изменение границ территорий, в пределах которых осуществляется местное самоуправление, допускается только с учетом мнения населения соответствующих территорий (п. 2 ст. 131 Конституции РФ, ст. 12 Федерального закона от 06.10.2003 № 131-ФЗ (Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации : федеральный закон от 06.10.2003 № 131-ФЗ. – https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/. – Текст : электронный)).

В этой связи Конституционный Суд РФ отмечает, что регламентация градостроитель-

ной деятельности, имеющая целью в первую очередь обеспечение комфортных и благоприятных условий проживания, комплексный учет потребностей населения и устойчивое развитие территорий, необходима для согласования государственных, общественных и частных интересов в данной области (Постановление от 28 марта 2017 г. №10-П; определения от 30.06.2020 № 1629-О, от 09.06.2022 № 1454-О, от 31.10.2023 № 3007-О и др.). Отмечается, что строгое соблюдение процедур, устанавливающих порядок внесения изменений в градостроительную документацию, важно для обеспечения учета мнения *заинтересованных лиц* и защиты их прав, исходя из необходимого *баланса* государственных, общественных и частных интересов (определение Конституционного Суда РФ от 30.05.2024 № 1167-О).

Исключение из процесса судебной защиты генпланов правообладателей недвижимости как полноправных регуляторов общественных отношений, наделенных и правом участия в обсуждении градостроительных нормативных правовых актов, и правом их судебного оспаривания, на наш взгляд, будет свидетельствовать об отсутствии равноправного взаимодействия субъектов градостроительных отношений. В числе прочего, это приведет к неравенству в вопросах защиты прав от угрозы изменения судебными актами характеристик земельных участков, при котором:

- Российская Федерация, субъекты РФ и муниципальные образования будут иметь возможность отстаивать свои права как правообладатели имущества;

- а иные лица, в том числе те, кто построил здесь свое единственное жилье, будут лишены такой возможности.

Отсутствие возможности участвовать в судебной защите по вопросам принятой градостроительной документации противоречит конституционному принципу равенства, установленному в ч. 1 ст. 19 Конституции РФ, а также зафиксированному в ч. 10.1 ст. 2 ГрК РФ принципу единства требований к взаимодействию субъектов градостроительных отношений, что недопустимо [16].

В отношении позиции Верховного Суда РФ (кассационное определение Судебной

коллегии по административным делам Верховного Суда РФ от 15.01.2025 № 127-КАД24-4-К4) о том, что при оспаривании генплана в порядке абстрактного нормоконтроля вопрос о правах и обязанностях конкретных лиц судом не разрешается, так как какие-либо обязанности на указанных лиц не возлагаются, стоит возразить следующее.

Согласно ч. 1 ст. 47 КАС РФ под заинтересованным лицом понимается лицо, чьи права и обязанности *могут быть затронуты* при разрешении административного дела. Лица, являющиеся собственниками земельных участков, которые в соответствии с Генпланом села Уютное 2018 г. входили в границы населенного пункта, заявили ходатайства о привлечении их в качестве заинтересованных лиц на стороне административных ответчиков только потому, что в период действия обжалуемых нормативных актов они возвели на своих земельных участках объекты капитального строительства, в том числе жилые дома.

Соответственно, их права как собственников недвижимости затрагиваются напрямую. Также важно учесть, что, согласно п. 1 ст. 263 Гражданского кодекса РФ, пп. 2 ч. 1 ст. 40 Земельного кодекса РФ, возможность застройки земельных участков продиктована необходимостью соблюдения градостроительных норм и правил. Руководствуясь положениями действующих в то время генплана и ПЗЗ, правообладатели все делали правильно. Однако теперь им приходят иски о сносе их домов, так как, оказавшись за границами населенного пункта в результате судебной отмены генплана, участки вернулись в исходную категорию – земли сельскохозяйственного назначения – где строительство запрещено. Так, например, от исхода административного дела по оспариванию генплана и ПЗЗ Уютненского сельского поселения напрямую зависит решение по гражданскому делу № 2-185/2023 (33-2808/2024) по иску администрации Уютненского сельского поселения к одному из жителей поселения о признании самовольной постройкой жилого дома и приведения земельного участка в соответствие с видом разрешенного использования.

Следует задаться вопросом о том, насколько при указанных обстоятельствах

справедливо говорить о том, что лица, «пострадавшие» от отмены генплана, не заинтересованы в исходе административных дел об отмене генпланов в порядке абстрактного нормоконтроля. Так, если правообладатели недвижимости в границах оспариваемого генплана не будут признаны заинтересованными лицами в административных судебных процессах, где решается их судьба, то они должны быть полностью уверены в том, что на их права и обязанности это действительно не повлияет: что их жилища и другие объекты капитального строительства не будут впоследствии подлежать сносу, что им присвоят адреса для обеспечения социальных потребностей и прочее.

Следующий момент, на котором также следует сделать акцент, – это размежевание земельных участков в соответствии с генпланом, которое впоследствии отменяется судом, до размеров, уже не позволяющих использовать исключенные из него территории в соответствии с их предыдущими характеристиками, такими как категория и вид разрешенного использования исходного землепользования.

Здесь полагаем верным поддержать доводы определения Четвертого кассационного суда общей юрисдикции по делу № 8а-19706/2023, где на эту проблему было обращено особое внимание. Отмечалось, что права подателей кассационных жалоб затрагиваются, в частности, и тем, что размер их земельных участков в результате их «выведения» за границы населенного пункта будет не соответствовать минимальным размерам, установленным для земельных участков сельскохозяйственного назначения в Республике Крым.

Как отметил Конституционный Суд РФ в Постановлении от 23.04.2004 № 8-П, конституционная характеристика земли как основы жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории, предопределяет конституционное требование рационального и эффективного использования – это требование адресовано всем участникам общественных отношений, является базовым для законодательного регулирования и обуславливает право федерального законодателя устанавливать особые правила,

порядок, условия пользования землей (по делу о проверке конституционности Земельного кодекса РФ в связи с запросом Мурманской областной Думы: Постановление Конституционного Суда РФ от 23.04.2004 №8-П. – https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_47600/. – Текст : электронный). В качестве признаков нерационального землепользования законодатель определил, что земельные участки должны быть пригодны для использования в соответствии с категорией земель и целевым назначением, в связи с чем они не могут быть меньше предельно допустимых значений, установленных законодателем. Из правовой позиции Конституционного Суда РФ, выраженной в определении от 15.01.2009 № 186-О-О, следует, что законодательные требования, касающиеся предельных (минимальных и (или) максимальных) размеров земельных участков, направлены на обеспечение рационального использования земель.

Проблема существования непригодных для использования по назначению участков заключается в невозможности его осуществить, в утрате их потребительской ценности: собственники не смогут их эксплуатировать и уже не смогут их продать. При этом возникают риски правовой неопределенности, когда правообладатели недвижимости будут скованы последствиями изменения зонирования территорий, будучи лишенными возможности компенсировать свои потери.

Результаты

На основании проведенного исследования считаем верным законодательно закрепить в ГрК РФ следующие положения.

1. Досудебная санация генпланов и ПЗЗ.

В случаях когда с даты утверждения генплана и (или) ПЗЗ, принятых с нарушениями, прошел существенный срок (более года), признание их недействующими: а) в порядке самоконтроля; б) в суде в порядке абстрактного нормоконтроля, осуществляется после получения заключения комиссии о целесообразности таких решений с учетом оценки фактических последствий их влияния на права и за-

конные интересы правообладателей земельных участков и объектов капитального строительства, расположенных в границах оспариваемых генплана и/или ПЗЗ (их частей), на основе баланса частных и публичных интересов, а также с учетом интересов развития муниципального образования (и конкретного населенного пункта).

Отмена генплана и ПЗЗ, в том числе в судебном порядке, не осуществляется в отношении тех частей включенных в него территорий, оспаривание законности включения которых приведет к последующему нарушению прав и законных интересов их правообладателей, сведения о которых содержатся в ЕГРН. В некотором смысле аналогом предложенной нормы являются нормы «лесной амнистии» (п. 4.1 (О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в целях устранения противоречий в сведениях государственных реестров и установления принадлежности земельного участка к определенной категории земель: федеральный закон от 29.07.2017 № 280-ФЗ. – https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221238/. – Текст : электронный)). Порядок создания и регламенты работы комиссий, уполномоченных выдавать такие заключения, а также критерии оценок последствий отмены генпланов и ПЗЗ устанавливаются Правительством РФ.

Представляется, что данное положение целесообразно в качестве процедуры разумной досудебной санации генпланов и ПЗЗ в отсутствие прямых законодательных норм, предусматривающих возможность досудебного исправления пороков градостроительной документации. В работу комиссии предлагается внедрить вариативный подход в отношении отдельных границ территорий, предложенный КС РФ № 45-П.

2. Участие правообладателей недвижимости в судебной защите

Лица, указанные в ч. 15 ст. 24 ГрК РФ, вправе участвовать в рассмотрении административного спора о признании генплана и ПЗЗ недействующими в порядке абстрактного нормоконтроля в качестве заинтересованных лиц в случае их несогласия с заключением комиссии о целесообразности принятия решения об отмене генплана и ПЗЗ.

В этом случае суд рассматривает административное дело с учетом заключения комиссии, а также с учетом доводов и доказательств, представленных заинтересованными лицами.

Такая норма позволит защитить права и законные интересы правообладателей недвижимости от ошибок комиссий с возможностью их исправления на стадии судебного рассмотрения спора в порядке абстрактного нормоконтроля. При этом, в силу того, что случаи возникновения таких ошибок, как мы полагаем, если и будут, то будут весьма незначительными, количество заинтересованных лиц – правообладателей недвижимости, привлеченных к участию в административном процессе, будет невелико.

Заключение

Игнорирование предложений по совершенствованию градостроительного законодательства, содержащихся в данной статье, с учетом распространенности оспаривания генеральных планов на территории Российской Федерации по причине несогласованности позиций различных органов, как государственной власти, так и местного самоуправления, недостаточной предварительной проработки градостроительной документации перед ее утверждением, ставит под сомнение эффективность действующего института территориального планирования для комплексного управления развитием территории и получения положительного экономического эффекта от ее использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евлоев И. М. Классификация судебного нормоконтроля: некоторые аспекты [Электронный ресурс]. – URL: http://www.aurri.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=799:evloev-imklassifikatsiya-sudebnogo-normokontrolya-nekotorye-aspekty&catid=41&Itemid=182.
2. Пархоменко Д. В., Предтеченская Е. А. Оспаривание документов территориального планирования // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 222–231. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-222-231. – EDN NLRLKS.
3. Гура Д. А. Градостроительное зонирование в задаче информационного обеспечения кадастровых работ на землях населенных пунктов // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 5. – С. 137–147. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-137-147. – EDN VSyrXE.
4. Медведев С. О., Зырянов М. А. Многофакторный подход к оценке устойчивости развития лесохозяйственной деятельности в регионах России // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 147–156. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-147-156. – EDN UROFUK.
5. Росреестр убрал «дубли» лесных участков из единого реестра почти на 306 млн га [Электронный ресурс]. – URL: <https://tass.ru/obschestvo/20024075>.
6. Махотлова М. Ш., Шалов Т. Б. Анализ использования лесного фонда на территории Нальчикского лесничества // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 156–166. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-156-166. – EDN FPONQD.
7. Янкелевич С. С. Современная концепция и методология картографирования // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 118–125. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-118-125. – EDN CFMHFH.
8. Саенко Ю. В. Историко-правовой анализ процесса включения в границы Забайкальского национального парка земель населенных пунктов (на примере поселка Чивыркуй) // Иркутск. – 2024. – 176 с.
9. Гусев И. А. Генеральный план как инструмент устойчивого территориального развития // Огарёв-Online. – 2015. – С. 1–4.
10. Куплевацкий С. В., Платонов Е. П. Защита имущественных прав и законных интересов Российской Федерации в области лесных отношений на территории субъектов Российской Федерации в Уральском Федеральном округе // Леса России и хозяйство в них. – 2022. – № 1. – С. 78–84. – DOI 10.51318/FRET.2022.41.39.008. – EDN PFCDPM.

11. Вылегжанина В. В. Проблемы землеустройства сельских территорий (опыт истории и современность) // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 114–125. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-114-125. – EDN ETNVHA.

12. Кряхтунов А. В., Раева И. В. Особенности градостроительной деятельности в монопрофильных городах на примере города Новый Уренгой // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 1. – С. 88–96. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-88-96. – EDN IZHTEI.

13. Кичигин Н. В. Актуальные проблемы применения генеральных планов и правил землепользования и застройки // Имущественные отношения в РФ. – 2014. – № 2 (149). – С. 24–33. – EDN RVELOH.

14. Егоров В. Ю., Шишелова С. А., Филатова А. В. Постатейный комментарий к Градостроительному кодексу РФ от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ // ЭлКниги. – 2012. – 226 с. – EDN RAUCMT.

15. Боголюбов С. А. Комментарии к Градостроительному кодексу РФ. – 3-е изд., перераб. и доп. – Проспект, 2009. – 506 с.

16. Башарин А. В. Об ограничении свободы усмотрения публичной власти при принятии (изменении) генеральных планов. Комментарий к Апелляционному определению Судебной коллегии по административным делам ВС РФ от 06.03.2019 № 78-АПА19-5 // Вестник экономического правосудия Российской Федерации. – 2020. – № 9. – С. 10–22.

Об авторах

Юлия Владимировна Саенко – доцент кафедры юриспруденции СГУГиТ; частнопрактикующий юрист.

Дарья Васильевна Пархоменко – кандидат технических наук, доцент кафедры кадастра и территориального планирования.

Игорь Владимирович Саенко – адвокат, член Адвокатской палаты Иркутской области.

Иван Викторович Пархоменко – кандидат технических наук, доцент кафедры кадастра и территориального планирования СГУГиТ, заместитель руководителя Управления Росреестра по Новосибирской области.

Получено 02.04.2025

© Ю. В. Саенко, Д. В. Пархоменко,
И. В. Саенко, И. В. Пархоменко, 2025

Challenging Master Plans via Judicial Review: Balancing Fairness with Proportionate Outcomes

Yu. V. Saenko¹, D. V. Parkhomenko^{1✉}, I. V. Saenko¹, I. V. Parkhomenko²

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

² lawyer, member of the Bar Association of the Irkutsk Region, Irkutsk, Russian Federation

³ Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography in Novosibirsk Region, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: dara8@inbox.ru

Abstract. Master plans are established over long-term horizons to underpin land use arrangements, guide investments, and shape urban development strategies. However, their judicial cancellation frequently gives rise to serious legal and socioeconomic challenges, particularly regarding safeguarding the rights of those who have acted upon these territorial planning guidelines. This study employs an interdisciplinary framework that synthesizes both abstract norm control and empirical insights into

land tenure law enforcement. It advances recommendations for refining legislation so as to enhance equity and predictability in urban governance.

Keywords: land management, rational land use, general plan, land use and development rules, abstract regulatory control, general plan cancellation

REFERENCE

1. Evloev I. M. Some nuances of classification of judicial compliance assessment Retrieved from http://www.aurri.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=799:evloev-im-klassifikatsiya-sudebnogo-normokontrolya-nekotorye-aspekty&catid=41&Itemid=182 [in Russian].
2. Parkhomenko D. V., Predtechenskaya E. A. (2020) Contesting of the land-use planning documents *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. 25. 2. Pp. 222–231. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-222-231. EDN NLRLKS [in Russian].
3. Gura D. A. (2024) Urban zoning in the task of information support for cadastral works on the lands of populated areas *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. 29. 5. Pp. 137–147. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-137-147 EDN VSYRXE [in Russian].
4. Medvedev S. O., Zyryanov M. A. (2025) Multifactorial approach to assessing the sustainability of forestry development in the regions of Russia *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. 30. 1. Pp. 147–156. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-147-156 EDN UROFUK [in Russian].
5. Rosreestr removed «duplicate» forest areas from the unified register on almost 306 million Retrieved from <https://tass.ru/obschestvo/20024075>.
6. Makhotlova M. S., Shalov T. B. (2024) Analysis of the forest resources use on the territory of the Nalchik forestry *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. 29. 4. Pp. 156–166. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-156-166. EDN FPONQD [in Russian].
7. Yankelevich S. S. (2024) Modern concept and methodology of mapping *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. 29. 3. pp. 118–125. DOI: 10.33764/2411-1759-2024-29-3-118-125 EDN: CFMHFH [in Russian].
8. Saenko Yu. V. (2024) *Istoriko-pravovoy analiz protsessa vklyucheniya v granitsy Zabaykal'skogo natsional'nogo parka zemel' naseleennykh punktov (na primere poselka Chivyrkuy) [Historical and legal analysis of the process of inclusion of lands of populated areas into the boundaries of the Zabaikalsky National Park (using the example of the village of Chivyrkui)]* Irkutsk. 176 p. [in Russian].
9. Gusev I. A. (2015). Master plan as a tool for sustainable regional development *Ogarov-Online [Ogarev-Online]* pp. 1–4 [in Russian].
10. Kuplevatsky S. V., Platonov E. P. (2022). Protection of property rights and legitimate interests of the Russian Federation in the field of forest relations on the territory of the constituent conteties of the Russian Federation in the Ural federal district *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh [Forest of Russia and economy in them]*. No. 1. P. 78–84. DOI 10.51318/FRET.2022.41.39.008 EDN PFCDPM [in Russian].
11. Vylegzhanina V. V. (2025) Problems of rural land management (historical experience and modernity) *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. 30. 1. Pp. 114–125. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-114-125 EDN ETNVHA [in Russian].
12. Kryakhtunov A. V., Raeva I. V. (2024) Features of urban planning activity in single-industry cities on the example of the city of Novy Urengoy) *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. 29. 1. Pp. 88–96. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-88-96 EDN IZHTEI [in Russian].
13. Kichigin N. V. (2014) Actual problems of application of general plans and rules of land use and development *Property relations in the Russian Federation [Imushchestvennyye otnosheniya v RF]*. 2. 149. P. 24–33 EDN RVELOH [in Russian].
14. Egorov V. Yu., Shishelova S. A., Filatova A. V. (2012) Article-by-article commentary to the Urban Development Code of the Russian Federation of December 29, 2004 No. 190-FZ // *EIKnigi*. 226 p. EDN RAYCMT [in Russian].

15. Bogolyubov S. A. (2009) Comments on the Urban Development Code of the Russian Federation. – 3rd edition, revised and supplemented *ElKnigi [Prospect]*. 506 p. [in Russian].

16. Basharin, A. V. (2020). On limiting the freedom of discretion of public authorities when adopting (changing) master plans. Commentary on the Appellate Determination of the Judicial Collegium for Administrative Cases of the Armed Forces of the Russian Federation dated March 6, 2019, No. 78-APA19-5. *Vestnik ekonomicheskogo pravosudiya Rossiyskoy Federatsii. [Bulletin of Economic Justice of the Russian Federation]*. 9. 10–22 [in Russian].

Author Details

Yulia V. Saenko – Associate Professor, Department of Jurisprudence.

Daria V. Parkhomenko – Ph. D., Associate Professor, Department of Cadastre and Territorial Planning.

Igor V. Saenko – Lawyer, member of the Bar Association of the Irkutsk Region.

Ivan V. Parkhomenko – Ph. D., Associate Professor, Department of Cadastre and Territorial Planning SSUGT, Deputy Head of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography in Novosibirsk Region.

Received 02.04.2025

© *Yu. V. Saenko, D. V. Parkhomenko, I. V. Saenko, I. V. Parkhomenko, 2025*

УДК 528.71:332

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-168-178

Применение космических снимков для определения средоформирующего потенциала территории

А. П. Сизов¹, Е. Г. Черных², В. Н. Щукина^{2✉}, К. Р. Меркурьева², Д. А. Букреев²

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
г. Москва, Российская Федерация

² Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, Российская Федерация

e-mail: schukinavn@tyuiu.ru

Аннотация. Средоформирующий потенциал (СФП) территории рассматривается авторами в качестве индикатора состояния земель, ландшафтов. СФП позволяет выполнить оценку состояния земель, прогнозирование их использования и анализ изменений, произошедших на данной территории. В ранее опубликованных материалах авторов выполнены детальные исследования в части расчета величины СФП применительно к территории регионов всей Российской Федерации, основанные на анализе сведений о наличии и распределении земель по угодьям, находящихся в открытых источниках и государственных (национальных) докладах. Целью исследования является разработка метода тематического дешифрирования спутниковых снимков для расчета СФП территории. Исследование реализовано на основе методов информационно-логического и сравнительно-географического анализа в предметной области (землепользование, природообустройство и экообустройство). В статье приведены характеристики исходных космических снимков, результаты их тематического дешифрирования, а также фрагмент сводной таблицы соотнесения значений NDVI (нормализованный относительный индекс растительности) элементарных ячеек по видам угодий для исчисления уточненного СФП территории. Основным результатом явился детальный анализ выделяемых элементарных ячеек (ЭЯ), сопоставление индекса NDVI с видом угодий, позволивший объективно и более достоверно определить СФП территории. В качестве экспериментальной площадки рассматривается репрезентативная часть территории Тюменского района. Научной новизной данного исследования, результаты которого представлены в статье, является разработка и апробация подхода исчисления величины СФП по результатам дешифрирования космических снимков.

Ключевые слова: дешифрирование, космический снимок, средоформирующий потенциал, Тюменский район, угодья, NDVI

Для цитирования:

Сизов А. П., Черных Е. Г., Щукина В. Н., Меркурьева К. Р., Букреев Д. А. Применение космических снимков для определения средоформирующего потенциала территории // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 168–178. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-168-178

Введение

Спутниковые снимки представляют собой мощный инструмент для анализа и мониторинга природных и антропогенных процессов на территории [1]. В условиях глобальных изменений климата и увеличения антропоген-

ной нагрузки на экосистемы анализ средоформирующего потенциала территории становится особенно актуальным. Данная статья посвящена исследованию возможностей применения спутниковых снимков для определения средоформирующего потенциала, что позволит более эффективно управлять при-

родными ресурсами и планировать устойчивое развитие территорий.

Особое внимание, на взгляд авторов, при анализе и планировании природопользования следует уделять средоформирующему потенциалу территории. Это понятие используется в научной литературе большей частью применительно к лесным экосистемам, обладающим наиболее высоким СФП.

Механизм эколого-экономической оценки СФП лесных ландшафтов детально описан Ю. В. Лебедевым. Для территории муниципального образования Е. А. Стыценко предложена методика автоматизированного дешифрирования оцифрованных разносезонных зональных космических изображений с помощью соответствующего программного обеспечения, позволяющая уверенно распознавать сельскохозяйственные угодья и растительный покров различных видов, но в ней не описаны все те показатели, с помощью которых исчисляется СФП территории.

Средоформирующий потенциал – это пространственно-распределенный и изменяющийся во времени показатель, который определяется по соотношению угодий на рассматриваемой территории.

Под СФП территорий в широком смысле в проекте авторы понимают совокупность всех природных ресурсов, факторов и условий территории, обладающих средообразующими (СОС), средовоспроизводящими (СВС) и средозащитными (СЗС) свойствами (включая климатические, геологические, гидрологические, земельные, почвенные и др., а также антропогенные):

$$\text{СФП} = \Sigma(\text{СОС}, \text{СВС}, \text{СЗС}).$$

Указанные свойства определяют количественные показатели выделения кислорода и поглощения углекислого газа на единицу площади и соотношение данных процессов [2, 3]. Таким образом, можно формализовать концептуальное положение наших исследований:

$$\text{O}_2 \uparrow / \downarrow \text{CO}_2 = f(\text{СФП}).$$

Поэтому для анализа изменения СФП следует применять мониторинговые методы получения информации о местности. Проводить сбор информации о местности наземными ме-

тодами трудоемко и экономически нецелесообразно, поскольку речь идет о площадях в десятки и сотни квадратных километров.

Актуальность работы обусловлена необходимостью дальнейшего поиска инструментов, компенсирующих перманентные негативные последствия, вызванные изменением природной среды во благо человека, но закономерно приводящих к нарушению состояния окружающей среды. Вопросы адекватной оценки качества земель на основе индикаторов их состояния актуальны при анализе и планировании использования природных, в частности, земельных ресурсов в связи с пространственным развитием территорий.

Научная новизна исследования заключается в разработке методики определения СФП по результатам тематического дешифрирования космических снимков и определения индекса NDVI в границах выделяемых элементарных ячеек. Этапы предлагаемой методики представлены на рис. 1.



Рис. 1. Этапы методики определения СФП с применением космических снимков

Апробация предлагаемой методики выполнялась на территории Тюменского района со стороны Московского тракта, в границы которой входят следующие населенные пункты: пос. Московский, д. Посохова, с. Гусево, д. Зубарева, д. Ушакова, с. Перевалово, пос. Подъем.

Методы и материалы

Исследование реализовано на основе методов информационно-логического и сравнительно-географического анализа в предметной области (землепользование, природообустройство и экообустройство); количественной оценки величины средоформирующего потенциала территории как функции баланса различных выделов земель, различающихся их физическим состоянием, характером поверхности и, соответственно, спектрально-отражательными свойствами (типы землепользования, угодья) с помощью прямого счета.

Исходными данными для последующего анализа территории и исчисления СФП территории послужили материалы дистанционного зондирования Земли из космоса.

Для выполнения тематического дешифрирования и определения индекса NDVI были получены панхроматические и многозональные снимки со спутника Spot-6, выполненные 23.08.2013, 14.08.2019, 16.08.2023, с последующим созданием по ним ортомозаик (рис. 2–4).



Рис. 2. Ортомозаика из снимков со спутника Spot-6. Дата съемки 23.08.2013



Рис 3. Ортомозаика из снимков со спутника Spot-6. Дата съемки 14.08.2019



Рис 4. Ортомозаика из снимков со спутника Spot-6. Дата съемки 16.08.2023

Пространственное разрешение панхроматических изображений составляет 1,5 м, многозональных – 6 м. В результате паншарпенинга получены многозональные изображения с пространственным разрешением 1,5 м.

В зависимости от спектрального диапазона изображений земной поверхности будут различаться и дешифровочные признаки.

Примеры методологии визуального (экспертного) дешифрирования представлены в ряде изданий [1–5].

Целью тематического дешифрирования в данном исследовании являлось распознавание типов угодий, определение их границ и площадей.

Подробно дешифровочные признаки угодий на рассматриваемой территории с примером их отображения на космоснимке представлены в работе [6]. Даны описания следующих угодий: пашня, многолетние насаждения, сенокосы и пастбища, залежь, нарушенные земли, подвергшиеся антропогенному воздействию. Характер отображения на космоснимках того или иного типа угодий может отличаться в зависимости от спектрального диапазона, времени года, освещенности и т. п., поэтому в каждом отдельном случае требуется индивидуальный подход к дешифрированию.

Результаты

С помощью программного обеспечения QGIS по космическим снимкам проводится тематическое дешифрирование и классификация объектов на исследуемой территории. Результаты векторизации контуров угодий распределены по слоям и представлены в легенде (рис. 5).

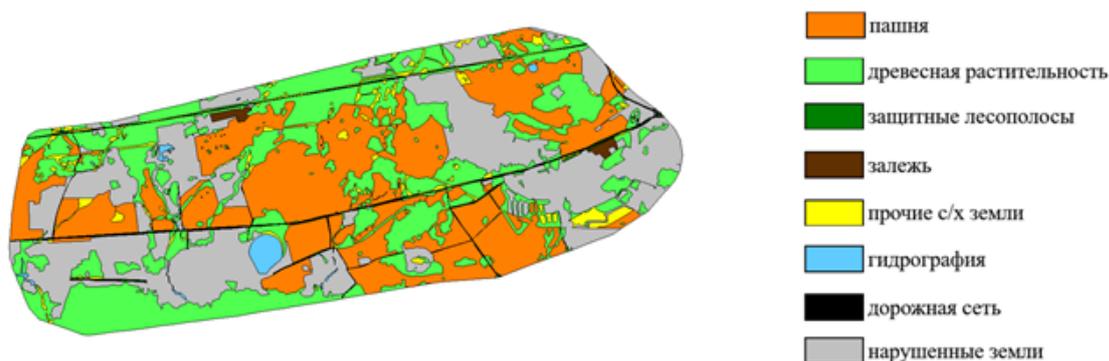


Рис. 5. Тематические слои, соответствующие различным видам угодий, полученные в результате дешифрирования космических снимков

Изменение распределения площадей угодий обследуемой территории за период 2013–2023 гг. представлено на диаграмме (рис. 6). В таблице данных на диаграмме площади угодий указаны в квадратных километрах.

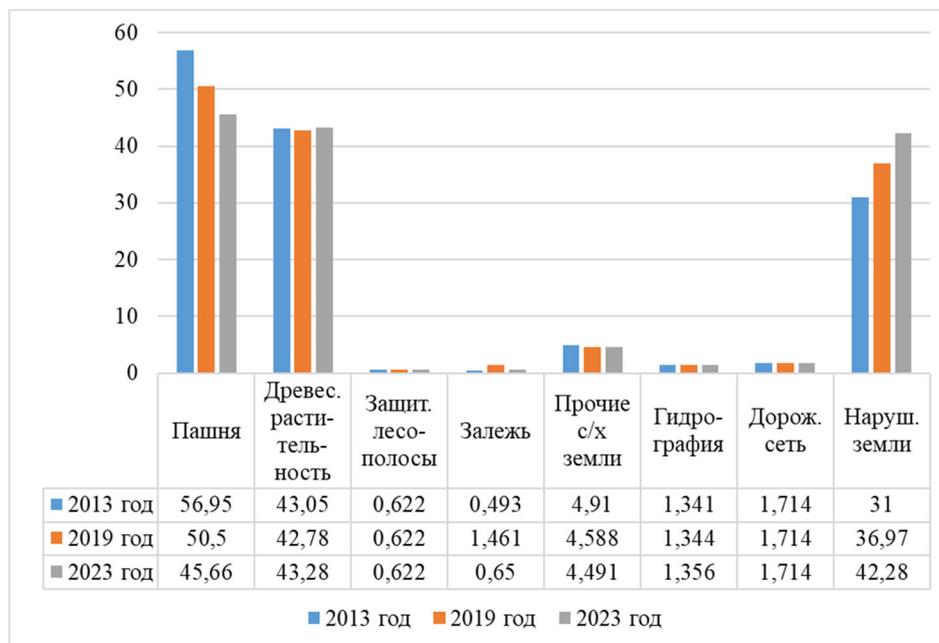


Рис. 6. Изменение распределения площадей угодий обследуемой территории за период 2013–2023 гг.

Анализируя данные диаграммы, можно сделать следующие выводы:

- более чем на 10 км² уменьшилась площадь пашни, при этом увеличилась площадь нарушенных земель на аналогичную величину;

- нестабильное изменение площадей залежи может быть обусловлено недостаточностью данных для ее однозначного дешифрирования;

– площади остальных угодий изменились незначительно.

Обсуждение

Дальнейшей задачей исследования является апробация нового подхода исчисления величины СФП путем объединения результатов тематического дешифрирования угодий с попиксельным определением индекса NDVI

и выделением элементарных ячеек в контуре каждого угодья.

Практическая значимость данной процедуры заключается в более точном определении СФП территории и анализе изменений в разрезе 2013, 2019, 2023 гг., что положено в основу разрабатываемой методики определения СФП с применением космических снимков (ранее при определении СФП космические снимки не использовались).

Анализ использования территорий по спектральным индексам (NDVI, NDWI (нормализованный относительный индекс воды), MSI (индекс весеннего развития растительности)) выполняется при решении широкого круга задач, но зачастую сравнительный анализ разновременных снимков используется при изучении изменений по какому-либо одному объекту (виду угодий, определенному типу растений или ограниченной территории) [7–11]. В некоторых публикациях NDVI применяется как показатель изменения территорий вследствие воздействий природного или техногенного характера [12–15].

Особенностью данного исследования является анализ разных типов угодий и определение индекса NDVI как промежуточного звена в исчислении СФП в качестве критерия использования территории. Подобное исследование описано в [16], в котором критерием использования территории является только изменение площадей по шести типам угодий: леса, водоемы, застроенные территории, бесплодные земли, пахотные земли, болота в разрезе десятилетия (с 1993–2022 гг.), но отсутствует дифференцированный показатель, подобный СФП.

Вычисление индекса NDVI выполнено по формуле

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}, \quad (1)$$

где *NIR* – инфракрасный канал, *RED* – красный канал.

На базе геоинформационной системы QGIS с помощью инструмента «Калькулятор растров» выбраны интересующие нас спектральные каналы и, согласно представленной формуле, рассчитаны значения индекса NDVI. Полученное растровое изображение

представлено в цветах отображения индекса NDVI в соответствии с выбранной шкалой интерполяции цветов (рис. 7).

Путем сопоставления растровых и векторных изображений производится количественное вычисление значений индекса внутри границ каждого отдельного типа сельскохозяйственных угодий, т. е. путем выделения элементарных ячеек (рис. 8, 9). Элементарная ячейка представляет замкнутый контур, включающий определенное количество пикселей растрового изображения, с единым показателем NDVI.

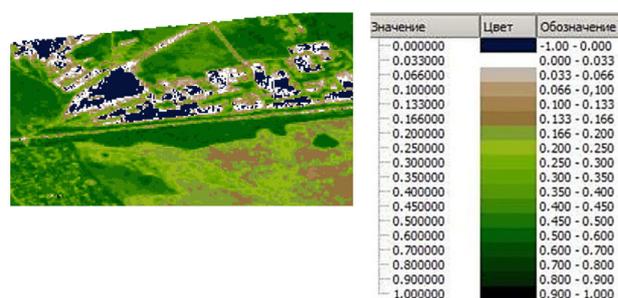


Рис. 7. Фрагмент растрового слоя NDVI

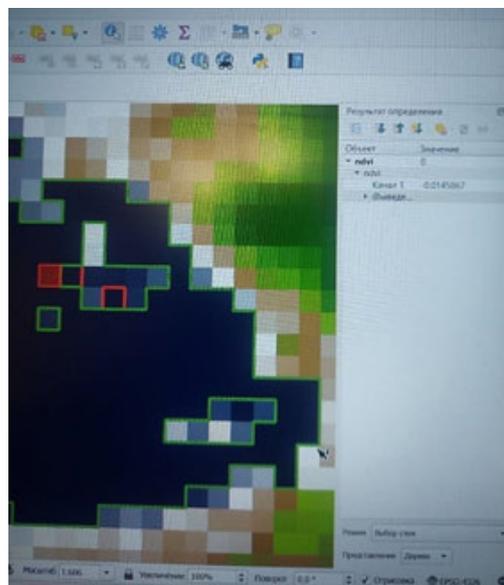


Рис. 8. Процедура выделения элементарных ячеек и их классификация по значению NDVI

Формируем сводный массив сопоставления значений NDVI элементарных ячеек по видам угодий (таблица).

Определение NDVI элементарных ячеек по видам угодий

№ категории (вида угодья)	Значение индекса NDVI	Количество ячеек		
		2013 г.	2019 г.	2023 г.
Гидрография	0,0	1 134	1	1 608
Гидрография	0,033	145	11	133
Гидрография	0,066	115	147	129
Гидрография	0,1	97	1 097	139
Гидрография	0,133	74	536	159
Гидрография	0,166	89	346	165
Гидрография	0,2	101	281	189
Гидрография	0,25	145	392	292
Гидрография	0,3	211	374	332
Гидрография	0,35	210	467	471
Гидрография	0,4	308	668	595
Гидрография	0,45	559	1 025	750
Гидрография	0,5	1 184	2 061	872
Гидрография	0,6	5 361	4 159	2 135
Гидрография	0,7	3 598	1 934	3 142
Гидрография	0,8	143	2	2 514
Гидрография	0,9	0	0	0
Гидрография	1,0	0	0	0
ИТОГО	0,0–1,0	13 472	13 499	13 624

Аналогичная таблица формируется для каждого угодья, внутри которого группируются ЭЯ по показателю NDVI.

Заключение

По результатам проведенного исследования было установлено, что для определения средоформирующего потенциала территории целесообразно использовать дешифрирование космических снимков в качестве предварительного этапа. На этом этапе выделяются границы различных угодий, что позволяет затем точно измерять площади их контуров.

Тематическое дешифрирование по космическим снимкам не обеспечивает полностью достоверность распознавания некоторых видов угодий, таких как сенокосы, пастбища, залежь, поэтому для повышения точности необходимо уточнение в полевых условиях.

Принятый нами временной интервал в 4–6 лет не позволяет однозначно распознать залежи, поэтому для их определения необходимо анализировать снимки трех последовательных годов.

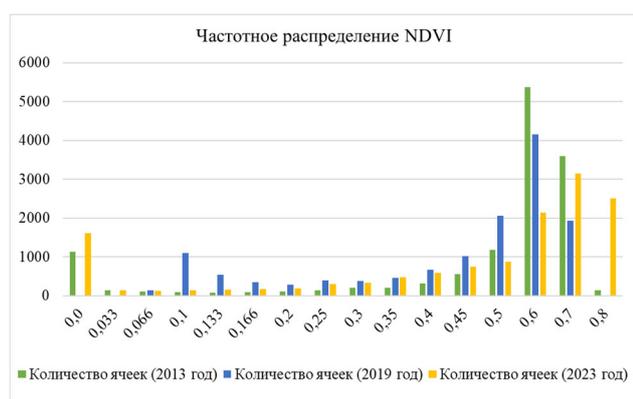


Рис. 9. Частотное распределение индекса NDVI за 2013, 2019, 2023 гг.

Дальнейшие исследования будут заключаться в расчете СФП на основе полученных данных из представленной таблицы.

В целом предлагаемая методика обладает рядом несомненных достоинств:

- широкий охват территории;
- оперативность получения космических изображений;
- сокращение временных затрат на выполнение полевых обследований и камеральную обработку;
- экономическая эффективность.

Дальнейшее развитие и реализация представленной методики заключается в анализе

полученных показателей NDVI, исчислении уточненного СФП территории экспериментального участка, формулировании выводов об изменениях территории в разрезе 2013, 2019, 2023 гг., для которых имеются снимки.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта Российского научного фонда № 23-27-00051, <https://rscf.ru/project/23-27-00051/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алейников А. А., Зимин М. В., Конох О. А., Кузнецова Е. А., Кузнецова (Белозерова) Е. А., Мудря Т. М. Изображения Земли из Космоса: примеры применения : научно-популярное издание. – М. : СканЭкс, 2005. – 100 с.
2. Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., Перминова Е. С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения : учебное пособие. – Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 191 с.
3. Епринцев С. А., Шекоян С.В. Тематическое дешифрирование космических снимков для оценки антропогенной нагрузки урбанизированных территорий // Экологическая оценка состояния воздушного бассейна крупных промышленных городов Центрального Черноземья : сборник научных статей. – Воронеж : Цифровая полиграфия, 2021. – С. 167–179. – EDN NXDLCE.
4. Илюшина Т. В., Сизов А. П. Исследование динамики рекреационных зон городского округа Самара с помощью методов дистанционного зондирования Земли // Геодезия и картография. – 2023. – № 10. – С. 50–55. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-50-55. – EDN LKCODB.
5. Ковалева Е. В., Лопачев Н. А., Кузьмина О. С., Тетерядченко А. И., Колесниченко Е. Ю. Мониторинговые исследования эрозионных процессов на пахотных полях с помощью дешифрирования космических снимков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 3(31). – С. 98–106. – EDN JXDDCE.
6. Сизов А. П., Щукина В. Н. Дешифрирование снимков для определения средоформирующего потенциала территории // Актуальные вопросы развития землеустроительной отрасли : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной ученому, землеустроителю, профессору М.А. Сулину (в рамках празднования 120-летия ФГБОУ ВО СПбГАУ) (Санкт-Петербург – Пушкин, 18 апреля 2024 г.). – СПб. – Пушкин : Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2024. – С. 42–46. – EDN XKUYSG.
7. Yan Ju., Zhang G., Ling H., Han F. Comparison of time-integrated NDVI and annual maximum NDVI for assessing grassland dynamics // Ecological Indicators. – 2022. – Vol. 136. – P. 108611. – DOI 10.1016/j.ecolind.2022.108611. – EDN ZJFKWG.
8. Taskuzhina A., Khusnitdinova M., Kapytina A., Moiseev R., Sagitov A., Gritsenko D. NDVI-based research on Sievers apple trees in the Northern Tien Shan region // Izvestiy Osh technological university. – 2023. – No. 2-2. – P. 33–36. – EDN BKDIWZ.
9. Arrogante-Funes P., Osuna D., Arrogante-Funes F., Alvarez-Ripado A., Garcia Bruzon A. Uncovering NDVI time trends in Spanish high mountain biosphere reserves // Journal of Environmental Management. – 2024. – Vol. 355. – P. 120527. – DOI 10.1016/j.jenvman.2024.120527. – EDN BXGAJA.
10. Уфимцев А., Абрамов Н. В. Использование коэффициента NDVI в системе точного земледелия // Интеграция науки и образования в аграрных вузах для обеспечения продовольственной безопасности России : сборник трудов национальной научно-практической конференции (Тюмень, 01–03 ноября 2022 г.) – Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022. – С. 228–234. – EDN RBJGDS.

11. Кашницкий А. В., Антошкин А. А., Денисов П. В., Толпин В. А., Трошко К. А. Верификация информации о местах произрастания сельскохозяйственных культур на основе среднего значения индекса NDVI на поле // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : материалы X Международной научной конференции (Красноярск, 12–15 сентября 2023 г.). – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2023. – С. 102–105.

12. Рыбников П. А., Рыбникова Л. С., Бузина Д. А., Смирнов А. Ю. Оценка самореабилитации территории Левихинского рудника по данным индекса NDVI // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Санкт-Петербург, 31 марта – 01 апреля 2022 г.). – М. : Геоинфо, 2022. – С. 422–427.

13. Курганович К. А., Макаров В. П. Использование вегетационных индексов NDVI для оценки влияния пожаров на динамику растительности Цасучейского бора // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2015. – № 2 (117). – С. 27–36. – EDN TSVNQH.

14. Докучаева В. К., Сучкова И. А. Мониторинг состояния растительности территории близ Норильского ТЭЦ-3: анализ NDVI // Исследования Русского Севера: экология, история, наследие : материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) к 200-летию со дня рождения Н. Я. Данилевского (Вологда, 27 октября 2022 г.). – Вологда : Вологодский государственный университет, 2022. – С. 167–173. – EDN QOYIUA.

15. Hou Q., Yang Zh. Ji, H., Yu X. Impacts of climate change and human activities on different degraded grassland based on NDVI // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12, No. 1. – P. 15918. – DOI 10.1038/s41598-022-19943-6. – EDN JXPFSJ.

16. Pathan Sh. A., V A. Assessment of Land Use/Land Cover Change and NDVI Analysis in Wokha District, Nagaland, India // Human Ecology. – 2024. – 52. – P. 549–561. – DOI 10.1007/s10745-024-00512-6. – EDN PNCZRG.

Об авторах

Александр Павлович Сизов – доктор технических наук, профессор кафедры землеустройства и кадастра.

Елена Германовна Черных – доктор технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Вера Николаевна Щукина – кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Кристина Рудольфовна Меркурьева – ассистент кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Дмитрий Александрович Букреев – аспирант кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Получено 09.12.2024

© А. П. Сизов, Е. Г. Черных, В. Н. Щукина,
К. Р. Меркурьева, Д. А. Букреев, 2025

Application of satellite imagery for assessing the environment forming potential of a territory

A. P. Sizov¹, E. G. Chernyh², V. N. Shchukina^{2✉}, K. R. Merkurieva², D. A. Bukreev²

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

² Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

e-mail: schukinavn@tyuiu.ru

Abstract. The environment-forming potential (EFP) of the territory as an indicator of the state of lands, landscapes and territories is considered in the article. The EFP enables an assessment of land condition, forecasting its use, and analyzing changes that occurred in the territory. In the authors' earlier works, detailed studies were carried out on calculating the value of the EFP across all regions of the Russian Federation based on data regarding the availability and distribution of lands according to categories taken from open sources and national reports. The primary objective of the study is to devise a robust methodology for interpreting satellite imagery specifically aimed at accurately calculating the EFP of various territories. To achieve this goal, advanced techniques combining information-logical and comparative geographical analysis within the subject area (land use, environmental management, and ecological development) were employed. The article presents characteristics of the initial satellite images, results of their thematic interpretation, as well as an excerpt from a summary table correlating Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values of elementary cells with different types of land cover used for calculating refined territorial EFP. A representative part of Tyumen district is considered as a designated test region. The methodological advancement of the study lies in developing and testing an approach to quantifying the environment-forming potential through the interpretation of satellite imagery.

Keywords: interpretation, satellite image, environment-forming potential, Tyumen district, land, NDVI

REFERENCE

1. Alejnikov, A. A., Zimin, M. V., Konoh, O. A., Kuznecova, E. A., Kuznecova (Belozerova), E. A., Mudrja, T. M. (2005) *Izobrazhenija Zemli iz Kosmosa: primery primenenija. [Images of the Earth from Space: application examples]*. Popular science publication. M., Engineering and Technology Center "ScanEx". 100 p. [in Russian].
2. Shikhov, A. N., Gerasimov, A. P., Ponomarchuk, A. I., Perminova, E. S. (2020). *Tematicheskoe deshifrirovanie i interpretacija kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo prostranstvennogo razreshenija [Thematic decoding and interpretation of satellite images of medium and high spatial resolution]* : textbook / ; Perm State National Research University. Electronic data. Perm. 191 p. [in Russian].
3. Eprintsev, S. A., Shekoyan, S. V. (2021) Thematic interpretation of satellite images to assess the anthropogenic load of urbanized territories In *Sbornik nauchnykh statei: Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya vozdušnogo basseina krupnykh promyshlennykh gorodov Tsentral'nogo Chernozem'ya [Rossiiskii nauchnyi fond, Voronezhskii gosudarstvennyi universitet]* (pp. 167–179). Voronezh : Tsifrovaya poligrafija Publ. EDN NXDLCE [in Russian].
4. Ilyushina, T. V., Sizov, A. P. (2023) Investigation of the dynamics of recreational areas of the Samara city district using remote sensing methods. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*, 10, 50–55 DOI 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-50-55. EDN LKCODB [in Russian].
5. Kovaleva E. V., Lopachev N. A., Kuz'mina O. S., Teterjadchenko A. I., Kolesnichenko E. Ju. (2021) Monitoring studies of erosion processes in arable fields using de-encryption of satellite images. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy [Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives]*, 3(31), 98–106 EDN JXDDCE [in Russian].
6. Sizov, A. P., Shchukina, V. N. (2024) Decoding images to determine the environmental potential of the territory. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj uchenomu, zemleustroitelju, professoru M.A. Sulinu (v ramkah prazdnovanija 120-letija FGBOU VO SPbGAU): Aktual'nye voprosy razvitija zemleustroitel'noj otrasli [Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the scientist, land surveyor, Professor M.A. Sulin (as part of the celebration of the 120th anniversary of the SPbGAU Federal State Budgetary Educational Institution) : Current issues of the development of the land management industry]* (pp. 42-46). St. Petersburg – Pushkin: St. Petersburg State Agrarian University Publ. EDN XKUYSG [in Russian].

7. Yan, Ju., Zhang, G., Ling, H., Han, F. (2022). Comparison of time-integrated NDVI and annual maximum NDVI for assessing grassland dynamics [*Ecological Indicators*], 136, 108611. DOI 10.1016/j.ecolind.2022.108611. EDN ZJFKWG.
8. Taskuzhina, A., Khusnitdinova, M., Kapytina, A., Moiseev, R., Sagitov, A., Gritsenko, D. (2023). NDVI-based research on Sievers apple trees in the Northern Tien Shan region [*Izvestiy Oshskogo technologicheskogo universiteta*], 2-2, 33–36. EDN BKDIWZ.
9. Arrogante-Funes, P., Osuna, D., Arrogante-Funes, F., Alvarez-Ripado, A., Garcia Bruzon, A. (2024). Uncovering NDVI time trends in Spanish high mountain biosphere reserves: A detailed study [*Journal of Environmental Management*], 355, 120527. DOI 10.1016/j.jenvman.2024.120527. EDN BXGAJA.
10. Ufimtsev, A., Abramov, N. V. (2022) The use of the NDVI coefficient in the precision farming system. In *Sbornik trudov nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii: Integracija nauki i obrazovaniya v agrarnykh vuzakh dlja obespecheniya prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossii [proceedings of the National Scientific and Practical Conference: Integration of science and education in agricultural universities to ensure food security in Russia]* (pp. 228–234). Tyumen: State Agrarian University of the Northern Urals Publ. EDN RBJGDS [in Russian].
11. Kashnitsky, A. V., Antoshkin, A. A., Denisov, P. V. [et al.] (2023) Verification of information on the places of growth of agricultural crops based on the average value of the NDVI index in the field. In *Sbornik materialov X Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii: Regional'nye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli [Proceedings of the X International Scientific Conference: Regional problems of remote sensing of the Earth]* (pp. 102–105). Krasnoyarsk: Siberian Federal University Publ. [in Russian].
12. Rybnikov, P. A., Rybnikova, L. S., Buzina, D. A., Smirnov, A. Y. (2022) Assessment of self-rehabilitation of the territory of the Levikhinsky mine according to the NDVI index. In *Sbornik materialov godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geojekologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii: Sergeevskie chteniya. Fundamental'nye i prikladnye voprosy sovremennogo gruntovedeniya [Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on Problems of Geoecology, Engineering Geology and Hydrogeology: Sergeyev readings. Fundamental and applied issues of modern soil science]* (pp. 422–427). Moscow: Geoinfo Publ. [in Russian].
13. Kurganovich, K. A., Makarov, V. P. (2015) The use of NDVI vegetation indices to assess the effect of fires on vegetation dynamics of the Tsasucheyevsky forest. *Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta [Transbaikal State University Journal]*, 2(117), 27–36. EDN TSVNQH [in Russian].
14. Dokuchaeva, V. K., Suchkova, I. A. (2022) Monitoring of the vegetation condition of the territory near Norilsk CHP-3: NDVI analysis. In *Sbornik materialov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem) k 200-letiju so dnja rozhdeniya N.Ya. Danilevskogo: Issledovaniya Russkogo Severa: jekologiya, istoriya, nasledie [materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation) on the 200th anniversary of the birth of N.Y. Danilevskoye: The study of the Russian North: ecology, history, heritage]*. (pp. 167-173). Vologda: Vologda State University Publ. EDN QOYIUA [in Russian].
15. Hou, Q., Yang Zh. Ji, H., Yu, X. (2022). Impacts of climate change and human activities on different degraded grassland based on NDVI. [*Scientific Reports*], 12 (1), 15918. DOI 10.1038/s41598-022-19943-6. EDN JXPFSJ.
16. Pathan, Sh. A., V, A. (2024) Assessment of Land Use/Land Cover Change and NDVI Analysis in Wokha District, Nagaland, India. [*Human Ecology*], 52, 549–561. DOI 10.1007/s10745-024-00512-6. EDN PNCZRG.

Author details

Alexander P. Sizov – D. Sc., Professor of the Department of Land Management and Cadastre.

Elena G. Chernykh – D. Sc., Associate Professor of the Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Vera N. Shchukina – Ph. D., Associate Professor of the Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Kristina R. Merkurieva – Assistant at the Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Dmitry A. Bukreev – Postgraduate Student of the Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Received 09.12.2024

© *A. P. Sizov, E. G. Chernykh, V. N. Shchukina,
K. R. Merkurieva, D. A. Bukreev, 2025*

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

**75 лет Олегу Кузьмичу Ушакову,
заслуженному работнику высшей школы РФ, кандидату технических наук,
доценту Сибирского государственного университета геосистем и технологий**

Олег Кузьмич Ушаков (рис. 1) родился 5 сентября 1950 г. в Новосибирске, в семье военно-служащего. В 1972 г. окончил оптический факультет НИИГАиК по специальности «Оптические приборы и спектроскопия», получил диплом о высшем образовании из рук своего декана Олега Альбертовича Майера (рис. 2).



Рис. 1. О. К. Ушаков на рабочем месте

Несмотря на признание самого Олега Кузьмича в том, что душа рвалась на производство, вся его трудовая деятельность сложилась и прошла в родном вузе, в сфере подготовки инженерных кадров для оптического приборостроения в тесной связи с производством.

С 1972 г. О. К. Ушаков – сотрудник кафедры оптики НИИГАиК. Активно работает, в том числе по реализации ряда инновационных проектов на НПЗ им. В. И. Ленина. Не менее активно занимается спортом, является членом сборной вуза по волейболу, причем команда НИИГАиК в те годы – одна из лучших вузовских команд региона. Затем окончил очную аспирантуру в Ленинградском институте точной механики и оптики, в 1985 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию по проблеме повышения качества изображения гидросъемочных объективов под руководством профессора М. М. Русинова. В 1986 г. ему присуждено ученое звание доцента, окончательно определившее профессиональную судьбу Олега Кузьмича, его настрой и желание работать на благо своей кафедры, факультета и вуза. Его работоспособность, активные профессиональная и общественная позиции, лидерские качества определили его авторитет, результативность его работы (как личной, так и в коллективах), возможности продвижения по служебной лестнице.

С 1992 по 1994 г. Олег Кузьмич – заместитель декана, а в 1994 г. избран деканом оптического факультета НИИГАиК. В связи с преобразованием в 1995 г. оптфака в Институт оптики и оптических технологий (ИОиОТ) НИИГАиК становится Сибирской государственной геодезической академией, Олег Кузьмич назначается его директором и работает в этой должности до 2013 г. С 2005 по 2011 г. одновременно заведует кафедрой оптических приборов, позднее работает доцентом этой кафедры (в настоящее время – кафедры фотоники и приборостроения).



Рис. 2. Декан О. А. Майер вручает диплом выпускнику оптфака О. К. Ушакову

Олег Кузьмич внес значительный вклад в становление и развитие ИОиОТ (рис. 3). Под его руководством открылись новые специальности, организован факультет прикладной оптико-электроники с отделениями и представительствами, создан научно-образовательный центр СГГА – СО РАН с филиалами кафедр при академических институтах. Активно развивались Молодежная творческая мастерская, Центр студенческих инициатив, активизировались подготовка научных кадров, олимпиадное движение, воспитательная работа со студентами, учебно-методическая работа; подготовлен очерк истории факультета и института. Отметим его личные достижения: он автор (и соавтор) почти 200 научных и научно-методических работ, в том числе 17 патентов и авторских свидетельств.



Рис. 3. На форуме «Гео-Сибирь»:
О. К. Ушаков., И. В. Лесных, А. П. Карпик, В. П. Савиных, Н. Ф. Чайка, Т. Н. Хацевич

Отметим, что в 2007 г. команда КВН ИОиОТ называлась «Дети Кузьмича».

О. К. Ушаков неоднократно отмечен наградами за успехи в работе и в спорте. Среди них звание «Заслуженный работник высшей школы» (2010 г.), почетные знаки «Отличник высшей школы», «Почетный работник высшего профессионального образования», «Отличник геодезии и картографии», «Почетный работник геодезии и картографии», Почетные грамоты администрации Новосибирской области, мэрии г. Новосибирска, Оптического общества им. Д. С. Рождественского, памятные медали к 100-летию и 115-летию г. Новосибирска.

Общий трудовой стаж О. К. Ушакова составил 52 года, и летом этого, 2025 г., он принял непростое решение оставить работу. У Олега Кузьмича три сына, четыре внука и две внучки.

Коллектив редакции «Вестника СГУГиТ» от имени коллектива университета желает Олегу Кузьмичу здоровья, благополучия ему и его близким, а также постоянной, но не обременительной востребованности его нашими сотрудниками.