



**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, № 5, 2025

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

## 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

*В. Нгомиракиза, Ю. М. Нейман.* Анализ различных методов регуляризации плохо обусловленных и вырожденных систем линейных алгебраических уравнений..... 5

*А. А. Токин, А. А. Шоломицкий, В. В. Щербаков.* Методика фильтрации облака точек методом скользящего конуса ..... 15

### ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

*Т. А. Хлебникова, Л. К. Трубина.* Опыт использования материалов дистанционного зондирования Земли для оценки обеспеченности городской территории зелеными насаждениями..... 24

### КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

*А. А. Колесников, С. С. Жданов.* Формирование картографических материалов по текстам травелогов с использованием механизмов генерации с дополненной выборкой..... 33

*Е. Л. Кухаренко.* Об опыте создания сервиса визуализации геоданных без программирования и его использовании в муниципальном образовании..... 41

*Д. С. Логинов.* Формализация выбора результата картографического обеспечения научно-производственной деятельности ..... 58

*А. Ю. Мельничук, Е. В. Антоненко, Ю. И. Макаришина.* Создание карт рассеивания выбросов автомобильного транспорта при помощи компьютерной программы «ЭКО центр – РРВА» (на примере автомобильных дорог Республики Крым)..... 68

*В. С. Сазонов, А. Н. Соловицкий.* Методика анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений..... 78

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](mailto:vestnik@snga.ru)  
Тел. (383)361-06-55  
<http://vestnik.snga.ru>

**Перевод на английский язык**  
И. А. Мусихин

**Редактор**  
О. В. Георгиевская

**Компьютерная верстка:**  
Я. А. Лесных  
В. А. Рыжова

Свободная цена.

Дата выхода в свет 31.10.2025.  
Формат 60 × 84 1/8.  
Усл. печ. л. 20,46.  
Тираж 100 экз. Заказ 143.

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, Р. А. Дьяченко, С. А. Ярутин, А. С. Макарян.* Методика построения оптимального маршрута при проведении работ по сканированию территории ..... 89
- Е. В. Коцур, А. В. Дубровский, М. Н. Веселова, А. М. Мельникова.* Формирование устойчивого землепользования с применением ГИС-технологий ..... 101
- И. Н. Кустышева, В. В. Беленко, В. Н. Москвин, Н. Г. Мартынова.* Система показателей локального мониторинга земель лицензионных участков нефтегазодобычи в условиях Крайнего Севера ..... 110
- С. В. Ларин.* О совершенствовании модели кадастрового учета и государственной регистрации прав на основании судебных актов ..... 122
- Е. Л. Уварова.* Эволюция кадастровых сервисов в России: от публичной кадастровой карты к Национальной системе пространственных данных ..... 130
- М. С. Чуприн.* Установление локальной системы координат при создании поэтажного плана ..... 142

## **ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ**

- Н. Н. Достовалов, Г. В. Симонова.* Сравнительный анализ методов определения состава веществ на основе искрового эмиссионного спектра ..... 155
- А. А. Елисеева, Т. Н. Хацевич.* Исследование тенденций в оптических характеристиках инфракрасных объектов с использованием инструментов патентного ландшафта ..... 164

## **ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ**

- Константину Федоровичу Афонину, кандидату технических наук, ветерану СГУГиТ – 80 лет ..... 175



**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(5), 2025**

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

**CONTENTS**

**GEODESY AND MINE SURVEY**

*W. Ngomirakiza, Yu. M. Neyman.* Comparative analysis of regularization techniques for ill-posed and degenerate systems of linear algebraic equations ..... 5

*A. A. Tokin, A. A. Sholomitskii, V. V. Shcherbakov.* Adaptive point cloud filtering using the "sliding cone" method ..... 15

**REMOTE SENSING, PHOTOGRAMMETRY**

*T. A. Khlebnikova, L. K. Trubina.* Leveraging remote sensing data for assessing urban green space availability: methodology and case study..... 24

**CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS**

*A. A. Kolesnikov, S. S. Zhdanov.* From travelogues to maps: generating cartographic materials using retrieval-augmented generation..... 33

*E. L. Kukhareno.* Development and use of a no-code geospatial data visualization service for municipal administration..... 41

*D. S. Loginov.* Formalizing the selection of cartographic support results in scientific and industrial activities ..... 58

*A. Yu. Melnichuk, E. V. Antonenko, Yu. I. Makarishina.* Modeling and mapping of motor vehicle emission dispersion using the ECO Center–RRVA software: a case study of road networks in the Republic of Crimea ..... 68

*V. S. Sazonov, A. N. Solovitsky.* Evaluating cartographic accuracy in conventional geological assessment of coal deposits..... 78

**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](mailto:vestnik@ssga.ru)

Phone: (383)361-06-55

<http://vestnik.ssga.ru>

**English translation**

I. A. Musikhin

**Editor**

O. V. Georgievskaja

**Desktop publishing:**

Y. A. Leshykh

V. A. Ryzhova

Free price

Issue data 31.10.2025.

Format 60 × 84 1/8.

Conv. pr. sheets 20,46.

Circulation 100 copies.

Order 143.

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, R. A. Dyachenko, S. A. Yarutin, A. S. Markarian.* Optimizing route planning for efficient territory scanning operations ..... 89

*E. V. Kotsur, A. V. Dubrovsky, M. N. Veselova, A. M. Melnikova.* GIS-driven approaches to sustainable land use development ..... 101

*I. N. Kustysheva, V. V. Belenko, V. N. Moskvina, N. G. Martynova.* Indicator-based local monitoring system for land in Far North oil and gas license sites ..... 110

*S. V. Larin.* Enhancing the model for cadastral and state registration of rights using judicial acts ..... 122

*E. L. Uvarova.* The evolution of cadastral services in Russia: from public cadastral mapping to the formation of a National Spatial Data System ..... 130

*M. S. Chuprin.* Establishing local coordinate systems for accurate floor plan creation ..... 142

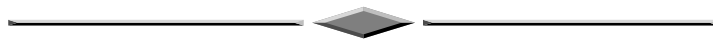
## OPTICAL AND ELECTRONIC DEVICES AND COMPLEXES

*N. N. Dostovalov, G. V. Simonova.* A Comparative Study of Techniques for Analyzing Material Composition Using Spark Emission Spectroscopy ..... 155

*A. A. Eliseeva, T. N. Khatsevich.* Exploring trends in infrared lens optics through patent landscape analysis ..... 164

## ANNIVERSARIES

To the 80-th anniversary of Konstantin Fedorovich Afonin, candidate of technical sciences, veteran of SSUGT ..... 175



УДК 519.612

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

## Анализ различных методов регуляризации плохо обусловленных и вырожденных систем линейных алгебраических уравнений

*В. Нгомиракиза<sup>1</sup>, Ю. М. Нейман<sup>1</sup>✉*

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

e-mail: yuney@miigaik.ru

**Аннотация.** Статья посвящена сравнительному анализу различных методов регуляризации некорректных задач геодезии, сводящихся к решению плохо обусловленных или вырожденных систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Используются основополагающие методы Тихонова с применением сингулярного разложения и гибридные итерационные методы на основе алгоритмов Ланцоша и Арнольди. Подобрано программное обеспечение и проделаны численные эксперименты с восемью различными вариантами регуляризации при решении модельных СЛАУ размером от 100 до 15 000. Сделанные выводы позволяют уверенно выбирать подходящий вариант регуляризации СЛАУ в зависимости от различных обстоятельств.

**Ключевые слова:** некорректная задача геодезии, регуляризация, вырожденная матрица, сингулярное разложение, гибридные итерационные методы

Для цитирования:

*Нгомиракиза В., Нейман Ю. М.* Анализ различных методов регуляризации плохо обусловленных и вырожденных систем линейных алгебраических уравнений // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 5–14. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-5-14

### **Введение и постановка задачи**

Известно, что большинство геодезических задач могут быть сформулированы в виде операторного уравнения [1–4]

$$Ax = b, x \in X, b \in B. \quad (1)$$

Здесь  $A$  – известный замкнутый линейный оператор;  $b$  – исходные данные задачи;  $X$  и  $B$  – некоторые метрические пространства. Согласно классическому определению французского математика Адамара, задача (1) называется корректной в паре метрических пространств  $X$  и  $B$ , если выполняются следующие условия:

- 1) для любых исходных данных  $b \in B$  существует решение  $x \in X$ ;
- 2) это решение единственное;
- 3) это решение устойчивое в том смысле, что достаточно малому (в метрике  $B$ ) изменению  $b$  соответствует сколь угодно малое (в метрике  $X$ ) изменение  $x$ .

Однако в реальной геодезической практике, где исходные данные получаются, как правило, из измерений, зачастую приходится сталкиваться с обстоятельствами, в которых хотя бы одно из перечисленных условий не выполняется.

Разнообразные примеры проблемных задач геодезии можно найти в работе [2]. Од-

ним из последних примеров может служить практическая реализация нового направления в моделировании гравитационного поля Земли в локальном районе [5]. Решения подобных некорректных задач достигаются специальными средствами регуляризации, основоположником которых является выдающийся советский математик А. Н. Тихонов. Задача статьи – проанализировать сравнительную эффективность наиболее известных разработок подобного типа применительно к решению плохо обусловленных и вырожденных систем линейных алгебраических уравнений, поскольку именно к решению СЛАУ сводится в конечном итоге большинство прикладных задач. Целью статьи является подбор соответствующего программного обеспечения.

Итак, пусть речь идет о решении СЛАУ вида

$$A_{n,n} \cdot x_{n,1}^{true} = b_{n,1}^{true} + \varepsilon_{n,1}, \quad (2)$$

где  $A_{n,n}$  – матрица коэффициентов размером  $n \times n$ ;  $x_{n,1}$  – искомое решение размером  $n \times 1$ ; и  $b_{n,1}^{true}$  – незашумленный столбец свободных членов размером  $n \times 1$  и  $\varepsilon_{n,1}$  – столбец случайных возмущений или ошибки измерений. Эффективность и надежность решения системы (2) с заданной точностью определяются свойствами матрицы  $A_{n,n}$  (размер, симметричность, обусловленность, вырожденность и т. п.). В процессе исследований столбец случайных возмущений  $\varepsilon_{n,1}$  правой части СЛАУ моделируется случайным нормальным вектором с нулевым математическим ожиданием и стандартом  $10^{-4}$ .

### Материалы и методы исследования

Исследование проведено на основе известных [4] тестовых некорректных задач  $[A_{n,n}, x_{n,1}^{true}, b_{n,1}^{true}] = \text{shaw}(n)$  и  $[A_{n,n}, x_{n,1}^{true}, b_{n,1}^{true}] = \text{foxgood}(n)$ , моделирующих классическую некорректную задачу решения интегрального уравнения Фредгольма первого рода в дискретном виде и генерирующих соответствующие данные с вырожден-

ными квадратными матрицами  $A_{n,n}$  в (2), где  $n$  – характеристика дискретизации.

Исследуемые методы регуляризации и правила выбора параметра регуляризации делятся на две группы: прямые и гибридные итерационные.

Прямые методы регуляризации на основе сингулярного разложения SVD: метод регуляризации Тихонова, метод декомпозиции затухающих сингулярных значений (Damped Singular Value Decomposition Method – DSVD) и метод усеченного сингулярного разложения (Truncated Singular Value Decomposition Method – TSVD). Для выбора параметра регуляризации исследованы обобщенная перекрестная проверка (Generalized Cross-Validation – GCV) и метод «L кривой» Хансена.

Гибридные итерационные методы на основе алгоритмов Ланцоша и Арнольди объединяют обобщенный метод минимальной невязки (Generalized Minimal Residual Method – GMRES), метод наименьших квадратов с QR-разложением (Least Squares QR factorization – LSQR) и метод регуляризации А. Н. Тихонова.

Для выбора параметра регуляризации в методе LSQR – Тихонова используется метод взвешенной обобщенной перекрестной проверки (Weighted Generalized Cross Validation – WGCV), а в методе GMRES – Тихонова – модифицированный метод обобщенной перекрестной проверки (Modified Generalized Cross Validation – MGCV).

Для вычислений подобного рода рекомендуется программное обеспечение, использованное в описываемых исследованиях и доступное на сайтах:

- 1) [https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52regtools#functions\\_tab](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52regtools#functions_tab);
- 2) [https://github.com/silviagazzola/bilevel\\_adaptive\\_parameterChoice/tree/master/ExtraBilevel](https://github.com/silviagazzola/bilevel_adaptive_parameterChoice/tree/master/ExtraBilevel).

### Методы регуляризации на основе сингулярного разложения

По определению сингулярное разложение (Singular Value Decomposition – SVD) матрицы  $A_{m,n}$ , где  $m \geq n$ , имеет вид [6, р. 5]

$$A_{m,n} = U \Sigma V^T = \sum_{i=1}^n \sigma_i u_i v_i^T.$$

Здесь  $U$  имеет размер  $m \times n$  и удовлетворяет равенству  $U^T U = E$ ;  $V$  – квадратная матрица  $n \times n$  и удовлетворяет равенству  $V^T V = E$ ;  $\Sigma$  – диагональная матрица  $diag(\sigma_1, \dots, \sigma_n)$ , где  $\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0$  – сингулярные числа.

Большие сингулярные числа соответствуют наиболее значимым направлениям

преобразования в пространстве данных, а нулевые или малые указывают на близость к вырожденности матрицы.

### Метод регуляризации Тихонова

Суть метода состоит в построении решения, определяемого из условия минимума функционала Лагранжа [6, р. 18; 7, р. 1–3]:

$$L(\lambda) = \|b - Ax_{reg}\|_2^2 + \lambda^2 \|Ex_{reg}\|_2^2 = \left\| \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A \\ -\lambda E \end{bmatrix} x_{reg} \right\|_2^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Здесь  $\lambda$  – положительное число, называемое параметром регуляризации;  $E$  – единичная матрица размером  $n \times n$ , позволяющая повысить точность регуляризованного решения;  $\|x_{reg}\|_2$  – норма решения СЛАУ;  $\|Ax_{reg} - b\|_2$  – норма невязки.

Выражение (3) можно записать в блочном виде, откуда следует стандартная форма метода регуляризации Тихонова:

$$(A^T A + \lambda^2 E) x_{reg} = A^T b.$$

С использованием указанного выше сингулярного разложения матрицы  $A$  регуляризованное решение СЛАУ определяется выражением [6, р. 20]

$$x_{reg} = (\Sigma^2 + \lambda^2 E)^{-1} \Sigma U^T b V. \quad (4)$$

Выражение (4) можно переписать в виде линейной комбинации [6, р. 20; 7, р. 7]

$$\|x_{reg}\|_2^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_i + \lambda} \frac{u_i^T b}{\sigma_i} \right)^2, \quad \|Ax_{reg} - b\|_2^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\lambda}{\sigma_i + \lambda} u_i^T b \right)^2.$$

Заметим, что если в формулах (5) и (6) принять  $\lambda = 0$  и, следовательно,  $\mu_i = 1$ , то методы регуляризации Тихонова и декомпозиции затухающих сингулярных значений вырождаются в стандартные методы наименьших квадратов с крайне неустойчивым решением для малых значений сингулярного числа.

$$x_{reg} = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i^2}{\sigma_i^2 + \lambda^2} \frac{u_i^T b}{\sigma_i} v_i = \sum_{i=1}^n \mu_i \frac{u_i^T b}{\sigma_i} v_i, \quad (5)$$

где  $\mu_i$  определяется соотношениями

$$\mu_i = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_i^2 + \lambda^2} \approx \begin{cases} 1, & \sigma_i \gg \lambda \\ \frac{\sigma_i^2}{\lambda^2}, & \sigma_i \ll \lambda \end{cases}, \quad 0 < \mu_i < 1,$$

играющими роль своеобразных фильтров. Формулы для квадрата нормы регуляризованного решения и невязки можно найти в работах [6, р. 26; 8, р. 3].

### Метод декомпозиции затухающих сингулярных значений

Регуляризованное решение методом DSVD имеет вид [4, р. 30]

$$x_{reg} = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{\sigma_i + \lambda} \frac{u_i^T b}{\sigma_i} v_i, \quad (6)$$

а квадрат нормы решения и невязки определяются следующими формулами:

### Метод усеченного сингулярного разложения

В методе регуляризации TSVD обрезается часть малых сингулярных значений, оставляя только  $l$  наибольших. Усеченное разложение имеет вид  $A_l = U_l \Sigma_l V_l^T$ ,  $1 \leq l \leq n$ , где  $n$  – ранг матрицы  $A$ ;  $U_l$  – состоит из первых  $l$

столбцов  $U$ ;  $\Sigma_l$  – диагональная  $l \times l$  матрица, содержащая  $l$  наибольших сингулярных значений;  $V_l^T$  – состоит из  $l$  строк  $V^T$  [6, р. 25; 8, р. 4]. Основная задача – оптимально выбрать параметр обрезания  $l$ , играющий роль параметра регуляризации. Большие значения  $l$  приводят к более точной аппроксимации, но усиливают влияние неизбежных погрешностей (шума), а малые значения  $l$  снижают влияние шума, но могут привести к потере значимой информации. Решение приближенной системы уравнений  $A_l x_l = b$  обеспечивает регуляризацию  $x_{reg} = V_l \Sigma_l^{-1} U_l^T$ .

### Методы выбора параметра регуляризации на основе сингулярного разложения

Практически все методы регуляризации предполагают в той или иной мере компромисс между «размером» регуляризованного решения и качеством его соответствия имеющимся данным. При этом эффективность

$$A_\lambda^+ = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i^2}{\sigma_i^2 + \lambda^2} \frac{u_i^T v_i}{\sigma_i}, \quad A_\lambda^+ = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{\sigma_i + \lambda} \frac{u_i^T v_i}{\sigma_i}, \quad A_l^+ = \frac{u_i^T v_i}{\sigma_i}.$$

Удобная для методов Тихонова, DSVD и TSVD форма функции GCV указана в [6, р. 35].

### Метод L-кривой Хансена

Суть данного метода заключается в исследовании и построении графика (в логарифмическом масштабе) нормы регуляризованного решения  $\log \|x_g\|_2$  в зависимости от нормы

$$\eta_g = \|x_g\|_2^2, \quad \rho_g = \|Ax_g - b\|_2^2, \quad \hat{\eta}_g = \log \eta_g, \quad \hat{\rho}_g = \log \rho_g,$$

то L-кривую можно трактовать как зависимость  $\hat{\eta}_g / 2$  от  $\hat{\rho}_g / 2$ , а явную формулу кривизны L-кривой можно найти, например, в работе [7, р. 11].

Отметим, что вертикальная часть L-кривой соответствует решениям, в которых величина  $\|x_g\|_2$  наиболее чувствительна к изменениям параметра регуляризации, а горизонтальная часть соответствует решениям, в которых

и надежность существенно зависят от правильного выбора параметра регуляризации.

### Обобщенный метод перекрестной проверки

Этот метод не требует априорной информации о дисперсии шума. Параметр регуляризации определяется минимизацией функции GCV [4, р. 37]:

$$G(\mathcal{G}) = \frac{\|Ax_g - b\|_2^2}{\left[\text{trace}(E - AA_g^+)\right]^2}, \quad \frac{\partial}{\partial \mathcal{G}}(G(\mathcal{G}))\Big|_{\mathcal{G}=\mathcal{G}_{opt}} = 0.$$

Здесь  $\mathcal{G}$  обозначает параметр регуляризации ( $\lambda$  или  $l$ );  $x_g$  – регуляризованное решение;  $A_g^+$  – псевдообратная матрица  $A$ , зависящая от используемого метода регуляризации. Так, для методов регуляризации Тихонова, DSVD и TSVD матрица  $A_g^+$  соответственно выражается следующим образом:

соответствующей невязки  $\log \|Ax_g - b\|_2$ . Обычно этот график имеет форму буквы L, что и определяет название метода. Оптимальное значение параметра регуляризации  $\mathcal{G}$  определяется точкой максимальной кривизны графика [6–8]. При этом параметр  $\mathcal{G}$  зависит от используемого метода регуляризации и может играть роль  $\lambda$  или  $l$ . Если обозначить

норма невязки  $\|Ax_g - b\|_2$  более чувствительна к изменениям параметра регуляризации.

### Гибридные итерационные методы в подпространствах Крылова

Наиболее эффективными и устойчивыми среди этих методов являются так называемые проекционные методы, особенно тот их класс, который связан с проектированием на подпро-

странства Крылова. К достоинствам этих методов относятся устойчивость, эффективное распараллеливание и возможность работы с преобусловливателями разных типов [9].

**Гибридный итерационный метод LSQR – Тихонова**

В отличие от методов, основанных на сингулярном разложении, метод наименьших квадратов с QR-разложением использует итерационный подход, что позволяет избежать хранения всей исследуемой матрицы в памяти и сократить вычислительные затраты. При этом регуляризация выполняется стандартным методом регуляризации А. Н. Тихонова. Такой гибридный итерационный метод регуляризации удобно выполнять с использованием подпространств Крылова и процедуры bidiagonalization Ланцоша [9, 10].

Вспомним, что подпространство Крылова  $K_k(A, b)$  – это линейная оболочка  $b, Ab, A^2b, \dots, A^{k-1}b$ , а алгоритм bidiagonalization Ланцоша вычисляет два ортонормированных базиса  $W_k = [w_1, \dots, w_k]$  и  $Z_k = [z_1, \dots, z_k]$  крыловских подпространств  $K'_k = K_k(A^T A, A^T b)$  и  $K''_k = AK_k(A^T A, A^T b)$ .

Алгоритм bidiagonalization Ланцоша подробно описан, например, в работе [9, р. 87]. Матричная форма указана в [10, р. 5; 11, р. 8].

Итерационный метод наименьших квадратов генерирует последовательность  $\{x_k\}$  так, что норма соответствующих невязок  $b - Ax_k$  монотонно убывает.

Устойчивость решению, как отмечалось выше, обеспечивает стандартный метод регуляризации А. Н. Тихонова.

**Гибридный итерационный метод GMRES – Тихонова на основе алгоритма Арнольди**

Обобщенный метод минимальной невязки – это итерационный метод численного решения неопределенной несимметричной системы линейных уравнений. Метод аппроксимирует решение вектором в подпространстве Крылова с минимальной невязкой. Для нахождения этого вектора рекомендуется итерацион-

ный процесс Арнольди, состоящий в определении ортонормированного базиса  $\{v_1, \dots, v_k\}$  в подпространстве Крылова  $K_k(A, b)$ . Описание алгоритма Арнольди можно найти, например, в работе [9, р. 91]. Матричная форма указана в [12, р. 2].

Суть метода GMRES с использованием указанного алгоритма состоит в нахождении решения  $x_k$  под условием минимизации следующего соотношения в подпространстве Крылова  $K_k$  [9, р. 10, 11]:

$$\min \|b - Ax_k\|, x \in K_k.$$

Устойчивость решению обеспечивает объединение указанного итерационного метода GMRES со стандартным методом регуляризации А. Н. Тихонова.

**Результаты и обсуждение**

Многочисленные эксперименты позволили выполнить сравнительный анализ надежности и эффективности указанных выше методов регуляризации при решении плохо обусловленных и вырожденных СЛАУ.

Для оценки эффективности и надежности указанных методов регуляризации используется критерий в виде относительной погрешности  $\alpha = \frac{x_{true} - X_{reg}}{x_{true}}$ ,

где  $X_{reg}$  обозначает регуляризованное решение, а  $x_{true}$  – модельное точное решение. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1, 2, где  $n$  – размер квадратной матрицы  $A$ ;  $\eta$  – норма решения СЛАУ;  $\rho$  – норма невязки;  $\lambda, l$  – параметры регуляризации ( $l$  для метода регуляризации TSVD);  $\alpha$  – относительная ошибка регуляризованного решения;  $T$  – затраты времени вычислений. Проанализировано 8 различных вариантов регуляризации. Методы Тихонова, DSVD, TSVD обозначают прямые методы регуляризации на основе сингулярного разложения SVD, а методы LSQR – Тихонова, GMRES – Тихонова – гибридные итерационные методы регуляризации на основе алгоритмов Ланцоша и Арнольди соответственно. Методы L-кривой, GCV и WGCV указывают правила выбора параметра регуляризации  $\lambda$  или  $l$ .

Таблица 1

Результаты, полученные по тестовой модели shaw ( $n$ )

$n$	Метод	$\eta$	$\rho$	$\lambda, l$	$\alpha$	$T$ (сек)
100	L-кривой – Тихонова	9,979257	0,001076	0,000128	0,054595	0,9
	GCV – Тихонова	9,975361	0,001078	0,000414	0,035202	
	<b>L-кривой – DSVD</b>	<b>14,05972</b>	<b>0,001526</b>	<b>0,000108</b>	<b>0,994883</b>	
	<b>GCV – DSVD</b>	<b>121,9466</b>	<b>0,001078</b>	<b>8,841e-06</b>	<b>12,17639</b>	
	<b>L-кривой – TSVD</b>	<b>2,58e + 11</b>	<b>0,001016</b>	<b>23</b>	<b>2,59e + 10</b>	
	GCV – TSVD	9,976199	0,001077	9	0,032204	
	WGCV (LSQR – Тихонова)	9,949926	0,000393	0,005041	0,059658	
5 000	MGCV (GMRES – Тихонова)	9,969561	0,001211	0,002441	0,047364	0,7
	L-кривой – Тихонова	70,55586	0,006981	0,000108	0,022217	257,6
	GCV – Тихонова	70,59448	0,006979	3,981e-05	0,025272	
	<b>L-кривой – DSVD</b>	<b>103,6914</b>	<b>0,009523</b>	<b>9,184e-05</b>	<b>1,076994</b>	
	<b>GCV – DSVD</b>	<b>9,69e + 03</b>	<b>0,006977</b>	<b>7,200e-07</b>	<b>137,2985</b>	
	L-кривой – TSVD	70,54789	0,006984	9	0,032058	
	GCV – TSVD	70,62023	0,006979	10	0,027662	
WGCV (LSQR – Тихонова)	70,35414	0,000393	0,005015	0,059676		
10 000	MGCV (GMRES – Тихонова)	70,49108	0,008294	0,002589	0,047582	2,9
	L-кривой – Тихонова	99,77955	0,009910	0,000108	0,022291	2162
	GCV – Тихонова	99,83574	0,009909	3,368e-05	0,023620	
	<b>L-кривой – DSVD</b>	<b>146,9566</b>	<b>0,013496</b>	<b>9,184e-05</b>	<b>1,081102</b>	
	<b>GCV – DSVD</b>	<b>18933544</b>	<b>0,009903</b>	<b>5,231e-11</b>	<b>1896764</b>	
	L-кривой – TSVD	99,76947	0,009915	9	0,032063	
	GCV – TSVD	99,86209	0,009909	10	0,026144	
WGCV (LSQR – Тихонова)	99,49420	0,000393	0,0049715	0,059700		
12 000	MGCV (GMRES – Тихонова)	99,77443	4,292e-05	5,2683e-05	0,023348	6,2
	L-кривой – Тихонова	109,2953	0,010972	0,0001085	0,024716	3769,3
	<b>GCV – Тихонова</b>	<b>14019,56</b>	<b>0,010966</b>	<b>5,6446e-09</b>	<b>128,2105</b>	
	<b>L-кривой – DSVD</b>	<b>161,8968</b>	<b>0,014869</b>	<b>9,1840e-05</b>	<b>1,092914</b>	
	<b>GCV – DSVD</b>	<b>995365,8</b>	<b>0,010966</b>	<b>1,1017e-08</b>	<b>9102,769</b>	
	L-кривой – TSVD	109,2901	0,010974	9	0,032058	
	<b>GCV – TSVD</b>	<b>25482,38</b>	<b>0,010966</b>	<b>15</b>	<b>233,0414</b>	
WGCV (LSQR – Тихонова)	108,9936	0,000393	0,0050144	0,059616		
15 000	MGCV (GMRES – Тихонова)	109,3112	4,317e-05	4,6331e-05	0,021657	12,9
	WGCV (LSQR – Тихонова)	121,8579	0,000393	0,0049615	0,059689	103,3
	MGCV (GMRES – Тихонова)	122,2109	4,251e-05	6,1438e-05	0,020347	

Из табл. 1 видно, что изменение параметра регуляризации сильно отражается на окончательном решении. Особо выделяется ненадежность методов на основе сингулярного разложения при решении СЛАУ большого размера. Среди методов регуляризации на основе сингулярного разложения метод L-кривой – Тихонова показывает достаточно эффективные и надежные результаты с относительной ошибкой меньше 7 % для всех указанных размеров. Что касается методов L-кривой – DSVD, GCV – DSVD, L-кривой – TSVD с размером  $n=100$ , L-кри-

вой – DSVD, GCV – DSVD с размерами  $n=5\ 000$ ,  $10\ 000$  и L-кривой – DSVD, GCV – DSVD, L-кривой – TSVD, GCV – TSVD с размером  $n=12\ 000$ , то их относительная ошибка превышает 7 %, и поэтому эти методы следует признать недостаточно эффективными при решении СЛАУ указанных размеров. Методы WGCV (LSQR – Тихонова) и MGCV (GMRES – Тихонова) хорошо показали себя при решении СЛАУ всех указанных размеров и при этом требуют сравнительно небольшого объема вычислений.

Таблица 2

Результаты, полученные по тестовой модели fooxgood ( $n$ )

$n$	Метод	$\eta$	$\rho$	$\lambda, l$	$\alpha$	$T$ (сек)
100	Л-кривой – Тихонова	5,774608	0,001080	0,000218	0,020550	1,1
	GCV – Тихонова	5,773822	0,001083	0,001339	0,012023	
	<b>Л-кривой – DSVD</b>	<b>8,212806</b>	<b>0,001519</b>	<b>0,000185</b>	<b>1,012113</b>	
	<b>GCV – DSVD</b>	<b>60,90756</b>	<b>0,001084</b>	<b>1,781e-05</b>	<b>10,50213</b>	
	Л-кривой – TSVD	5,774069	0,001084	3	0,007182	1,1
	GCV – TSVD	5,774069	0,001084	3	0,007183	
	WGCV (LSQR – Тихонова)	5,773242	0,001094	0,002263	0,009982	
	MGCV (GMRES – Тихонова)	5,772277	0,001136	0,003507	0,010657	
5 000	Л-кривой – Тихонова	40,82707	0,006985	0,000218	0,007775	254,4
	GCV – Тихонова	40,86300	0,006982	5,739e-05	0,041742	
	<b>Л-кривой-DSVD</b>	<b>60,46972</b>	<b>0,009464</b>	<b>0,000156</b>	<b>1,092959</b>	
	<b>GCV-DSVD</b>	<b>3445,439</b>	<b>0,006981</b>	<b>2,026e-06</b>	<b>84,38975</b>	
	Л-кривой – TSVD	40,91862	0,006982	7	0,066654	3,7
	GCV – TSVD	40,91245	0,006982	6	0,064253	
	WGCV (LSQR-Тихонова)	40,82213	0,006999	0,001320	0,004395	
	MGCV (GMRES – Тихонова)	40,81252	0,007334	0,003329	0,009133	
10 000	Л-кривой – Тихонова	57,73589	0,009967	0,000185	0,009138	2176
	GCV – Тихонова	57,73503	0,009967	0,000258	0,007041	
	<b>Л-кривой – DSVD</b>	<b>85,94505</b>	<b>0,013450</b>	<b>0,000157</b>	<b>1,103043</b>	
	<b>GCV – DSVD</b>	<b>6871,400</b>	<b>0,009965</b>	<b>1,450e-06</b>	<b>119,0119</b>	
	Л-кривой – TSVD	57,73661	0,009967	5	0,010472	11,3
	GCV – TSVD	57,73462	0,009968	4	0,002361	
	WGCV (LSQR – Тихонова)	57,73089	0,000223	0,001185	0,004487	
	MGCV (GMRES – Тихонова)	57,73436	0,000223	0,000181	0,002396	
12 000	Л-кривой – Тихонова	63,24535	0,011046	0,000185	0,003408	3482,6
	GCV – Тихонова	63,24478	0,011046	0,000306	0,001936	
	<b>Л-кривой – DSVD</b>	<b>86,96115</b>	<b>0,016087</b>	<b>0,000185</b>	<b>0,944134</b>	
	<b>GCV – DSVD</b>	<b>29005,44</b>	<b>0,011042</b>	<b>3,807e-07</b>	<b>458,6152</b>	
	Л-кривой – TSVD	63,24512	0,011046	4	0,002386	21,5
	GCV – TSVD	63,24512	0,011046	4	0,002386	
	WGCV (LSQR – Тихонова)	63,24125	0,000223	0,001270	0,003461	
	MGCV (GMRES – Тихонова)	63,24686	0,000222	0,000119	0,003463	
15 000	WGCV (LSQR – Тихонова)	70,70701	0,000222	0,001057	0,005434	120,2
	MGCV (GMRES – Тихонова)	70,70988	0,000222	0,000194	0,003867	

Из табл. 2 видно, что методы Л-кривой – DSVD и GCV – DSVD – не позволили решать СЛАУ с высокой точностью. Относительная ошибка остальных исследованных методов меньше 7 %. Гибридные итерационные методы WGCV (LSQR – Тихонова) и MGCV (GMRES – Тихонова) надежно решают СЛАУ всех указанных размеров.

Представленные результаты показали, что недостаточно тщательный выбор параметра регуляризации в методах Л-кривой и GCV может привести к так называемому переобуче-

нию (решение вполне устойчиво, но значимо смещено относительно истинного значения) или недообучению (решение достаточно несмещенное, но неустойчивое).

### Выводы

На основе результатов проведенных исследований сделан вывод о том, что правильный выбор параметра регуляризации является принципиально необходимым условием для получения устойчивого решения с требуемой точно-

стью. Поэтому алгоритмы, объединяющие методы выбора параметра регуляризации, такие как L-кривой и GCV, методы регуляризации Тихонова, TSVD, DSVD и соответствующие программные обеспечения желательнее использовать для решения СЛАУ сравнительно небольшого размера (в пределах 12 000). Затраты времени около 60 минут.

Применение сингулярного разложения может быть слишком трудоемким при решении СЛАУ большого размера (больше 12 000) и доступно только при наличии очень большого размера оперативной памяти компьютера.

Гибридные итерационные методы регуляризации LSQR – Тихонова, GMRES – Тихонова и соответствующие компьютерные программы обеспечивают универсальную регуляризацию, т. е. они позволяют найти устойчивое решение для всех указанных размеров СЛАУ со сравнительно небольшими временными затратами (в пределах десятка минут).

Содержание табл. 1, 2, отражающее проделанные численные эксперименты, и подобранное программное обеспечение позволяют обоснованно выбирать подходящий вариант регуляризации СЛАУ в зависимости от реальных обстоятельств, возможных временных затрат и требуемой надежности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грешилов А. А. Некорректные задачи и многокритериальное программирование // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2015. – № 2. – С. 1–11.
2. Тихонов А. Н., Большаков В. Д., Нейман Ю. М. Некорректные задачи геодезии // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1980. – № 1. – С. 45–53.
3. Лебедев А. Л. Решение некорректных задач методами многокритериального математического программирования // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2008. – № 4. – С. 89–99.
4. Hansen P. C. A MATLAB Package for Analysis and Solution of Discrete Ill-Posed Problems. Informatics and Mathematical Modelling // Technical University of Denmark. – 2008. – 128 p.
5. Мазурова Е. М., Нейман Ю. М., Сугаипова Л. С. Система сферических функций, ортогональных в локальном сегменте сферы // Геодезия и картография. – 2024. – № 4. – С. 2–9. – DOI 10.22389/0016-7126-2024-1006-4-2-9.
6. Hnetynkova I., Plesinger M., Strako Z. Ill-Posed Inverse Problems in Image Processing. Introduction, Structured matrices, Spectral filtering, Regularization, Noise revealing. Faculty of Mathematics and Physics // Charles University. Prague. – 2008. – 60 p.
7. Hansen P. C. The L-curve and its use in the numerical treatment of inverse problems. Informatics and Mathematical Modelling // Technical University of Denmark. – 24 p.
8. Hansen P. C., Jensen T. K., Rodriguez G. An adaptive pruning algorithm for the discrete L-curve criterion // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2007. – 198 (2). – Pp. 483–492.
9. Gazzola S., Novati P., Russo M. R. On Krylov projection methods and Tikhonov regularization // Electronic Transactions on Numerical Analysis. – 2015. – V. 44. – Pp. 83–123.
10. Paige C. C., Saunders M. A. LSQR: An Algorithm for Sparse Linear Equations and Sparse Least Squares // ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS). – 8 (1). – Pp. 43–71.
11. Larsen R. M. Lanczos bidiagonalization with partial reorthogonalization // DAIMI Report Series. – 1998. – 27 (537). – 102 p.
12. Novati P., Russo M. R. A GCV based Arnoldi-Tikhonov regularization method // BIT Numerical Mathematics. – 2013. – 22 p.

### Об авторах

*Вильям Нгомиракиза* – аспирант кафедры высшей математики.

*Юрий Михайлович Нейман* – доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики.

Получено 11.06.2025

© В. Нгомиракиза, Ю. М. Нейман, 2025

## Comparative analysis of regularization techniques for ill-posed and degenerate systems of linear algebraic equations

W. Ngomirakiza<sup>1</sup>, Yu. M. Neyman<sup>1</sup>✉

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

e-mail: yuney@miigaik.ru

**Abstract.** A comparative analysis of various regularization methods applied to ill-posed problems in geodesy, specifically those involving ill-conditioned or degenerate systems of linear algebraic equations (SLAEs) is presented in the article. The study focuses on fundamental Tikhonov regularization techniques utilizing singular value decomposition, alongside hybrid iterative methods based on the Lanczos and Arnoldi algorithms. Suitable software tools were selected to perform numerical experiments encompassing eight distinct regularization approaches on model SLAEs of sizes ranging from 100 to 15,000 equations. The results provide clear guidance for selecting the most appropriate regularization method for SLAEs under varying conditions.

**Keywords:** ill-posed geodesy problems, regularization, degenerate matrices, singular value decomposition, hybrid iterative methods

### REFERENCES

1. Greshilov A. A. (2015) Ill-posed problems and multi-criteria programming. *Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2, 1–11. – DOI 10.18698/2308-6033-2015-2-1367 [in Russian].
2. Tihonov A. N., Bol'shakov V. D., Neyman Yu. M. (1980) Ill-posed problems in geodesy. *Izvestia Vuzov. Geodezija i aerofotos'jomka* [Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying], 1, 45–53 [in Russian].
3. Lebedev A. L. (2008) Solving ill-posed problems by means of multi-criteria programming. *Vestn. Mosk. Gos. Tech. Univ. im. N. E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 4, 89–99 [in Russian].
4. Hansen P. C. (2008). A MATLAB Package for Analysis and Solution of Discrete Ill-Posed Problems. Informatics and Mathematical Modelling. *Technical University of Denmark*. 128 p.
5. Mazurova E. M., Nejman Yu. M., Sugaipova L. S. (2024) A system of spherical functions orthogonal in the local segment of the sphere. *Geodezia i Kartografija* [Geodesy and Cartography], 4, 2–9 DOI:10.22389/0016-7126-2024-1006-4-2-9 [in Russian].
6. Hnetynkova I., Plesinger M., Strako Z. (2008). Ill-Posed Inverse Problems in Image Processing. Introduction, Structured matrices, Spectral filtering, Regularization, Noise revealing. Faculty of Mathematics and Physics. *Charles University. Prague*. 60 p.
7. Hansen P. C. The L-curve and its use in the numerical treatment of inverse problems. Informatics and Mathematical Modelling. *Technical University of Denmark*. 24 p.
8. Hansen P. C., Jensen T. K. (2008). Rodriguez G. An adaptive pruning algorithm for the discrete L-curve criterion. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 198(2). Pp. 483–492.
9. Gazzola S., Novati P., Russo M. R. (2015). On Krylov projection methods and Tikhonov regularization. *Electronic Transactions on Numerical Analysis*. V. 44. Pp. 83–123.
10. Paige C. C., Saunders M. A. LSQR: An Algorithm for Sparse Linear Equations and Sparse Least Squares. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*. 8(1). Pp. 43–71.
11. Larsen R. M. (1998). Lanczos bidiagonalization with partial reorthogonalization. *DAIMI Report Series*. 27(537). 102 p.

12. Novati P., Russo M. R. (2013). A GCV based Arnoldi-Tikhonov regularization method. *BIT Numerical Mathematics*. 22 p.

**Author details**

*William Ngomirakiza* – Ph. D. Student, Department of Higher Mathematics.

*Yuri M. Neyman* – D. Sc., Professor, Department of Higher Mathematics.

Received 11.06.2025

© *W. Ngomirakiza, Yu. M. Neyman, 2025*

УДК 004.932.72`1:512.547

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-15-23

## Методика фильтрации облака точек методом скользящего конуса

А. А. Токин<sup>1✉</sup>, А. А. Шоломицкий<sup>2</sup>, В. В. Щербаков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Центр маркшейдерско-геодезических инноваций Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>3</sup>Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: alexandrtokin@gmail.com

**Аннотация.** Облако точек в фотограмметрии представляет собой трехмерное распределение точечных данных, извлеченных из фотограмметрических изображений объекта посредством методов автоматического распознавания изображений. Облако точек позволяет анализировать геометрические характеристики объекта, проводить его визуализацию и моделирование. В статье рассмотрен инновационный метод фильтрации облака точек определяемой поверхности для удаления шумов и ошибочно распознанных точек методом скользящего конуса, который состоит в перемещении на каждую точку облака конуса с направленным вверх основанием. Образующая конуса наклонена под определенным углом, соответствующим углу естественного откоса сыпучего материала. Точки, попадающие внутрь этих конусов, считаются шумом или не относящимися к исследуемой поверхности и удаляются. Таким образом, в облаке точек съемки объекта остаются только точки его поверхности, в данном случае поверхности определяемых объемов сыпучих материалов. Предложенный метод фильтрации облака точек позволяет повысить точность вычисления таких объемов, что подтверждается сравнением с результатами лазерного сканирования эталонных поверхностей.

**Ключевые слова:** фотограмметрия, съемка, автоматическое распознавание, фильтрация, подсчет объемов, точность

### Для цитирования:

Токин А. А., Шоломицкий А. А., Щербаков В. В. Методика фильтрации облака точек методом скользящего конуса // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 15–23. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-15-23

### Введение

Использование технологии автоматизированной съемки и подсчета объемов является эффективным способом контроля за объемом вынутого и перемещенного грунта и запасов сырья на складах [1, 2]. Такая технология способствует повышению безопасности складских операций, снижает риск возникновения ошибок и улучшает общую эффективность управления складами [3, 4].

Однако при применении данного метода невозможно полностью контролировать по-

лученное облако точек, на основе которого рассчитывается объем сыпучих материалов [5–7]. В условиях недостаточной освещенности или высокой запыленности облако точек может содержать ошибочные данные, что затрудняет подсчет объемов. После удаления шумовых данных и выделения точек земли могут утрачиваться важные данные возле стенок и элементов склада. Кроме того, при выделении точек земли традиционными методами классификации отраженные блики от запыленности могут ошибочно классифицироваться как точки земли [8].

В статье предложен инновационный метод фильтрации точек, который способен качественно выделить точки, относящиеся к поверхности сыпучих материалов без потери данных, что повышает точность подсчета объемов. Разработанный метод основывается на использовании геометрических характеристик сыпучих материалов для фильтрации нерелевантных данных.

Актуальность исследования обусловлена возрастающими требованиями к автоматизации и точности управления складскими запасами в условиях увеличивающихся объемов хранения и разнообразия сыпучих материалов.

### **Методы и материалы исследований**

Результатом автоматизированного метода съемки с применением IP-камер, установленных на грузоподъемных устройствах, является облако точек (рис. 1).

При автоматизированной фотограмметрической съемке складов сыпучих материалов облаков точек содержат данные не только поверхности сыпучих материалов, но и данные, относящиеся к элементам конструкции склада. К таким данным относятся стенки склада, ограждения, перегородки, которые имеют точки, нависающие над сырьем, а также неправильно распознанные и идентифицированные точки.

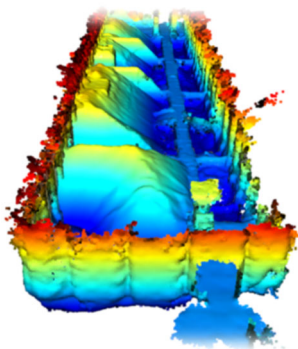


Рис. 1. Облако точек, полученное в результате автоматизированной обработки фотограмметрической съемки

Для выполнения подсчета объемов по облаку точек необходимо отфильтровать данные, не относящиеся к поверхности сыпучих материалов.

Существует несколько методов фильтрации, которые можно классифицировать по различным подходам [9, 10]. Ниже приведены основные подходы с описанием их преимуществ и недостатков:

1) геометрические методы основываются на анализе геометрических характеристик точек облака, таких как высота, плотность, расстояния между точками и углы наклона. Основная идея заключается в использовании простых геометрических критериев для классификации точек как земных или нежелательных (например, объектов на поверхности, растительности). Геометрические методы легко реализуемы, но плохо справляются со сложным и неоднородным рельефом;

2) морфологические методы используют принципы математической морфологии, такие как дилатация и эрозия, для обработки облаков точек. Эти методы позволяют выделять основную структуру поверхности путем последовательного применения морфологических операций, что помогает отделить земную поверхность от объектов на ней. Методы эффективны для переменного рельефа и плотной растительности, но для достижения оптимальных результатов необходимо тщательно настроить параметры морфологических операций;

3) методы машинного обучения включают использование алгоритмов, которые обучаются на размеченных данных для классификации точек облака [11, 12]. Эти методы могут использовать различные признаки точек, такие как высота, плотность, контекстные характеристики, для обучения моделей, способных автоматически выделять земную поверхность. Методы способны адаптироваться к различным условиям местности и сложным ландшафтам, но для обучения модели необходим большой объем данных. При появлении условий, не встречающихся ранее, модели требуется дополнительное обучение;

4) методы аппроксимации поверхности предполагают построение математической модели поверхностной структуры на основе облака точек. Это может включать использование триангуляционных сеток, полиномиальных поверхностей или других моделей для приближения реальной земной поверхности, что позволяет выделять основные компоненты рельефа. Методы позволяют точно выделять сложные формы рельефа. Однако для эффек-

тивности методов необходимо подбирать параметры добавления точек, которые могут меняться в зависимости от условий съемки.

В методике автоматизированной съемки [1] и подсчета объемов сыпучих материалов на складах для выделения точек земли по данным аэрофотосъемки применяются стандартные методы программного обеспечения Agisoft Metashape – классификация рельефа [13].

Этот метод относится к классу методов аппроксимации поверхности. При использовании стандартных параметров классификации в условиях недостаточной освещенности и высокой запыленности (рис. 2) облако точек может содержать ошибочные данные, затрудняющие точный подсчет объемов. Кроме того, могут теряться важные данные вблизи стенок и элементов склада, как показано на рис. 2, 3.



Рис. 2. Изображение поверхности склада, полученное ИР-камерой

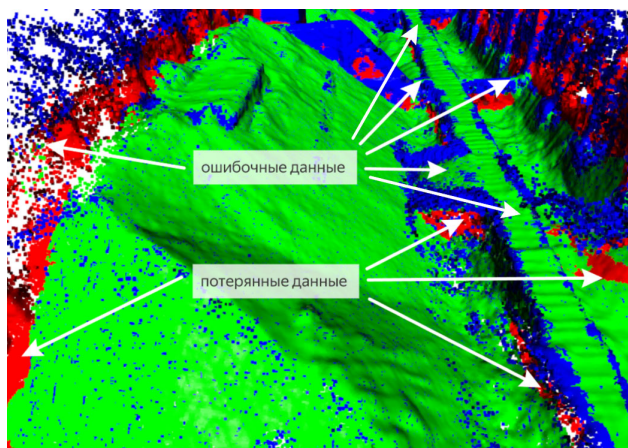


Рис. 3. Классифицированное облако точек: синий цвет – класс не назначен (1 759 715); красный – шум (1 329 794); зеленый – поверхность (3 805 163)

Таким образом, существующие методы либо недостаточно точны, либо требуют значительных вычислительных ресурсов и ручной настройки, что делает их неприменимыми для автоматизированного подсчета объемов сыпучих материалов.

Для повышения точности автоматизированного подсчета объемов целесообразно применять фильтрационные методы, способные эффективно удалять нерелевантные точки без необходимости предварительной настройки параметров. Авторы предлагают использовать для этого метод скользящего конуса, который относится к группе геометрических методов и не требует сложной подготовки и обучения.

Несмотря на то что традиционные геометрические методы обладают ограниченной точностью при работе со сложным рельефом, данный подход принципиально отличается за счет адаптации к специфике сыпучих материалов. Ключевое преимущество метода скользящего конуса заключается в использовании угла естественного откоса – физического параметра, характерного для конкретного материала (например, песка, угля или гравия). Это позволяет алгоритму автоматически учитывать геометрию поверхности без сложных вычислений или обучения на больших данных.

Альтернативные методы (морфологические, машинное обучение, аппроксимация) требуют либо ручной настройки параметров под каждый случай, либо эталонных данных, что затрудняет их применение в условиях изменчивой среды складов (запыленность, динамическое освещение). Данный метод, напротив, работает детерминированно: конус «отсекает» только точки, физически невозможные для заданного угла откоса, сохраняя при этом данные у стенок и других критичных зон.

Таким образом, авторы выбрали геометрический подход, но модифицировали его, устранив главный недостаток – низкую адаптивность. Это обеспечило точность при сохранении простоты и скорости обработки, что критично для автоматизированных систем учета.

### *Метод фильтрации скользящим конусом*

Метод скользящего конуса основан на использовании пространственных ограничений для изоляции значимых точек облака, соот-

ветствующих определенным геометрическим критериям. В каждой точке облака строится вертикальный конус с вершиной в данной точке и основанием, направленным вверх. Угол вершины конуса определяется геометрическими характеристиками исследуемого материала, такими как угол естественного откоса, который варьируется от 20 до 36° для различных материалов. Точки, попадающие внутрь конусов, считаются не относящимися к сыпучим материалам, шумом или выбросами и удаляются из облака. На рис. 4 показано положение конуса на нескольких точках вертикального сечения облака точек съемки.

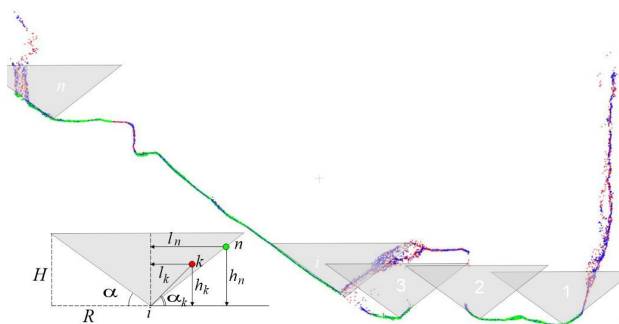


Рис. 4. Фильтрация облака точек методом скользящего конуса

Множество точек облака, полученного в результате автоматизированной обработки

съемки склада, представим в виде неупорядоченного множества

$$M_p = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}. \quad (1)$$

В общем случае точка описывается совокупностью трехмерных координат

$$p_i = \{x_i, y_i, z_i\}, \quad (2)$$

где  $p_i$  – точка облака съемки склада, которая является элементом множества  $M_p$ ; индекс  $i$  служит для идентификации элемента в множестве.

Фигура «скользящий конус» (см. рис. 4) может быть описана следующими элементами:

$$Con = \{\alpha, H, R\}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – угол естественного откоса сыпучего материала склада, который является основным параметром конуса;  $H$  – высота конуса;  $R$  – радиус основания. Эти параметры служат для ограничения выборки при анализе множества  $M_p$  и подбираются программно.

Конус перемещается по множеству точек  $M_p$ . Принадлежность некоторой точки  $k$  внутреннему объему конуса, построенному на точке  $i$ , определяется выражением (см. рис. 4)

$$\left( \arctg \frac{h_k}{l_k} > \alpha \right) \wedge (z_i < z_k < (z_i + H)) \wedge (l_k < R), \quad (4)$$

$$\arctg \frac{z_k - z_i}{\sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}} > \alpha. \quad (5)$$

В таком случае операцию фильтрации облака точек «скользящим конусом» можно формализовать в виде

$$\forall p_k \in Con_i \rightarrow M_p'' = M_p - p_k, \quad (6)$$

где  $M_p'' \subset M_p$  – множество точек поверхности склада, которое является подмножеством множества  $M_p$ , очищенным от ошибочных

точек и шумов, и используется в дальнейшем для вычисления объема склада.

Метод вертикальных конусов учитывает геометрические характеристики объекта, позволяя эффективно отделить релевантные точки от точек, не относящихся к сыпучим материалам, от шумов и выбросов.

Ограничение поиска точек внутри заданного радиуса  $R$  и по высоте  $H$  уменьшает объем вычислений и делает метод масштабируемым для больших облаков точек.

Построение конусов на каждой точке обеспечивает сохранение важных элемен-

тов облака точек, относящихся к сыпучим материалам.

Использование угла естественного откоса  $\alpha$  позволяет адаптировать метод к различным видам сыпучих материалов, обеспечивая гибкость и точность фильтрации.

### Испытания метода

Метод вертикальных конусов особенно полезен при автоматизации подсчета объемов сыпучих материалов, где требуется очистка облака точек от нерелевантных данных без потери информации о поверхности материала [14, 15]. При использовании данного метода необходимо предварительно выполнить статистическую фильтрацию шумов и выбросов (рис. 5).

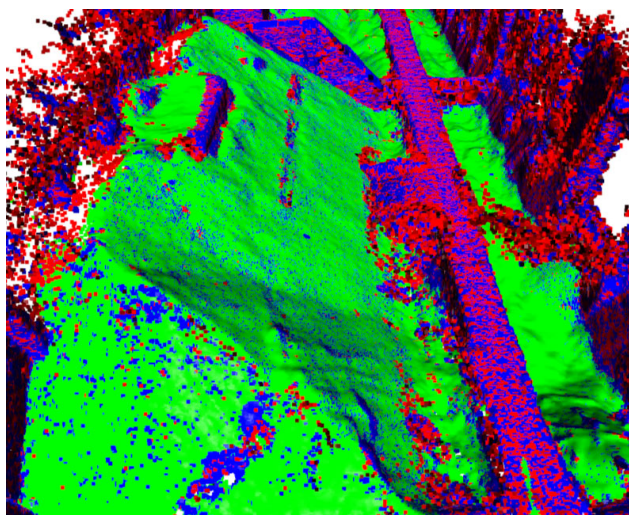


Рис. 5. Фильтрация точек сыпучих материалов методом скользящего конуса: синий цвет – исходное облако точек (1 620 845); красный – шумы, выбросы (2 608 311); зеленый – отфильтрованные точки поверхности (1 085 516)

Для большей наглядности анализа рассмотрим облака точек в разрезе на рис. 4 и 6 а, б, где синим цветом показано полное облако точек; красным – точки шума и выбросов; зеленым – точки поверхности, выделенные методом скользящего конуса.

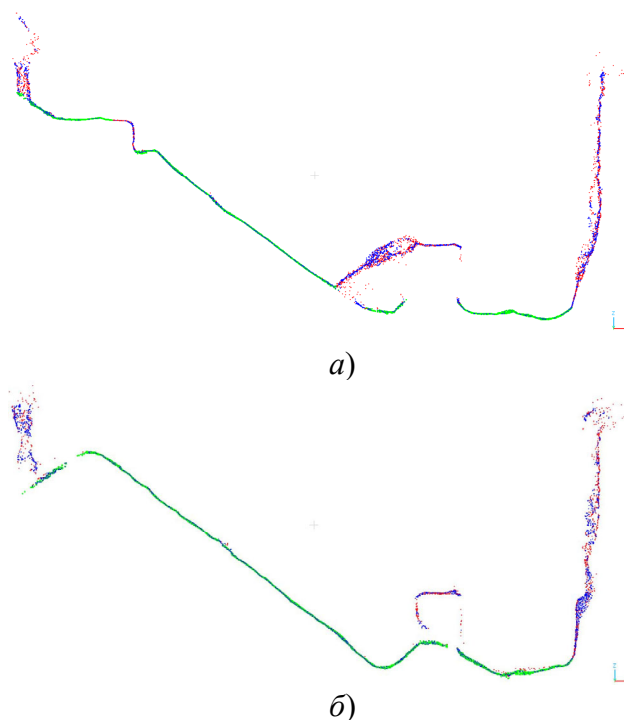


Рис. 6. Сечения по облаку точек: а) сечение по секции 2; б) сечение по секции 3

С использованием предложенного метода после фильтрации остаются необходимые данные для экстраполяции данных у стенок склада, а также удаляется все, что не относится к сыпучим материалам.

### Анализ результатов

Для анализа сравним результаты подсчета объемов по данным двух способов фильтрации с результатом подсчета объемов по данным лазерного сканирования (рис. 7.). Ввиду более высокой плотности точек и точности [16] подсчет объемов по облаку точек наземного лазерного сканирования будем считать эталоном.

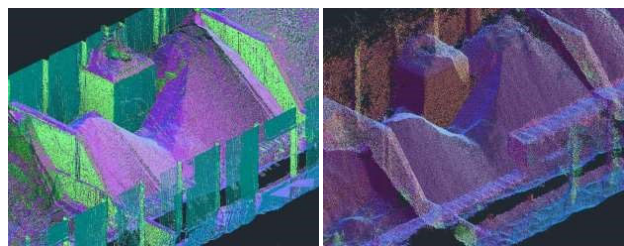


Рис. 7. Облака точек (лазерное сканирование слева, автоматическая система справа)

Для удаления шумов и переотражений облака точек лазерного сканирования может быть отфильтровано вручную [17, 18].

Подсчет объемов произведен в программном обеспечении Autodesk Civil 3D

компаративным методом по призмам.

Отдельно для каждой секции склада объем рассчитывается между двумя поверхностями (таблица).

#### Анализ результатов подсчета объемов

№	$V_0$	$V_1$	$V_2$	$(V_0 + V_1)/2$	$(V_0 + V_2)/2$	$V_0 - V_1$	$V_0 - V_2$	$\Delta V_1, \%$	$\Delta V_2, \%$
1	2 972	2 905	2 934	2 938,5	2 953	67	38	2,3	1,3
2	1 826	1 745	1 796	1 785,5	1 811	81	30	4,5	1,7
3	1 151	1 132	1 138	1 141,5	1 144,5	19	13	1,7	1,1
4	226	228	226	227	226	-2	0	-0,9	0,0

$V_0$  – объем, полученный по данным лазерного сканирования;  $V_1$  – объем, полученный при фильтрации данных стандартным методом выделения поверхности земли [13];  $V_2$  – объем, полученный при фильтрации данных методом скользящего конуса.

#### Заключение

В результате фильтрации облака точек методом скользящего конуса остаются необходимые для дальнейшей экстраполяции данные у стенок склада, а также удаляются точки, не относящиеся к сыпучим материалам, благодаря чему значительно повысилась точность подсчета объемов. Если по съемке со стандартными методами выделения поверхности земли точность определения объемов (см. таблицу)  $\Delta V_1, \%$  соответствовала только инструкции (РД 07-604-03 «Инструкция по маркшейдерскому учету объемов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом». Серия 07. Выпуск 13. – М. : Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. – 32 с.), которая была отменена в 2020 г. Предложенный метод фильтрации скользящим конусом облаков то-

чек автоматизированной съемки складов позволяет эффективно удалять ошибочно распознанные точки, что повышает точность вычисления объемов  $\Delta V_2, \%$  (см. таблицу), которая теперь соответствует требованиям (Правила осуществления маркшейдерской деятельности. Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 № 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности». Зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2023 N 73638). Таким образом, чтобы добиться требуемой в настоящее время точности вычисления объемов, необходимо применять современные методы съемки складов и фильтрации полученных облаков точек.

Метод скользящих конусов особенно полезен при автоматизации подсчета объемов сыпучих материалов, где требуется очистка облака точек от нерелевантных данных без потери информации о поверхности материала.

Использование геометрических ограничений, таких как угол конуса и его высота, обеспечивает высокую производительность фильтрации. Этот подход особенно полезен при анализе и обработке данных сыпучих материалов, где структурные особенности и плотность распределения точек играют ключевую роль.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Токин А. А. Фотограмметрический метод съемки сыпучих материалов на складах с размещением IP камер на грузоподъемных механизмах // Маркшейдерский вестник. – 2024. – № 2 (152). – С. 31–38.
2. Рогова Н. С. Применение неметрических цифровых камер для контроля объемов перемещенного грунта при выполнении земляных работ на строительных площадках // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 4. – С. 356–359.

3. Смольянинова Е. Н., Полищук Е. В. Проблемы современной складской логистики // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2019. – Т. 8. № 2 (27). – С. 292–294.
4. Пат. RU2788655C1 Система автоматического расчета объемов сыпучего материала на складах закрытого типа [Текст] / Пастухова Г. В., Зотин Д. А., Торопов И.; заявл. 2021.08.02; опубл. 2023.01.24.
5. Сальников В. Г., Басаргин А. А., Астапов А. М. Анализ способов подсчета объемов штабеля сыпучих материалов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 203–211. – DOI 10.22764/2618-981X-2019-1-1-203-211.
6. Комиссаров А. В., Аврунев Е. И., Ямбаев Х. К., Хлебникова Е. П. Сравнение точности определения объемов сыпучих материалов по данным съемки с беспилотных летательных аппаратов и геодезическими измерениями // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 70–77. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-70-77.
7. Tucci G., Gebbia A., Conti A., Fiorini L., Lubello C. Monitoring and computation of the volumes of stockpiles of bulk material by means of UAV photogrammetric surveying // Remote Sens. – 2019. – 11 (12). – P. 1471.
8. Данилова Л. А., Рашевский Н. М., Рекунов С. С., Трудов Я. А., Гуртяков А. С. Классификация плотного облака точек при моделировании рельефа // Academia. Архитектура и строительство. – 2024. – № 3. – С. 76–81. – DOI 10.22337/2077-9038-2024-3-76-81.
9. Zhiyang Zhi, Bingtao Chang, Yuan Li, Zhigang Du, Yipeng Zhao, Xiaodong Cui, Jiahuan Ran, Aiguang Li, Wuming Zhang. P-CSF: Polar coordinate cloth simulation filtering algorithm for multi-type tunnel point clouds // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2025. – Volume 155, Part 1. – DOI 10.1016/j.tust.2024.106144.
10. Xingsheng Deng, Guo Tang, Qingyang Wang. A novel fast classification filtering algorithm for LiDAR point clouds based on small grid density clustering // Geodesy and Geodynamics. – 2022. – Vol. 13, Is. 1. – Pp. 38–49.
11. Mariya Velikova, Juan Fernandez-Diaz, Craig Glennie. "ICESat-2 noise filtering using a point cloud neural network // ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2024. – Vol. 11. – DOI 10.1016/j.ophoto.2023.100053.
12. Дубенко Ю. В., Дышкант Е. Е., Тимченко Н. Н., Рудешко Н. А. Метод реконструкции трехмерных сцен, основанный на применении сверточных нейронных сетей, фильтрации по дистанции и с помощью «октодеревя» // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2021. – № 4. – С. 43–54. – DOI 10.21685/2072-3059-2021-4-4.
13. Руководство пользователя Agisoft Metashape: Professional Edition, версия 2.1. 2024 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_2\\_1\\_ru.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_1_ru.pdf) (дата обращения: 29.02.24).
14. Giampiero Mineo, Marco Rosone, Chiara Cappadonia. Semi-Automated rock block volume extraction from high-resolution 3D point clouds for enhanced rockfall hazard analysis // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2025. – Vol. 185. – P. 11. – DOI 10.1016/j.ijrmms.2024.105982.
15. Тубольцев В. П., Авдеенок В. Л. Автоматизация процессов обработки данных дистанционного зондирования земли // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2022. – Т. 2. – С. 182–184.
16. Chao Hu, Yi-hong Zhou, Chun-ju Zhao, Zhi-guo Pan. Slope excavation quality assessment and excavated volume calculation in hydraulic projects based on laser scanning technology // Water Science and Engineering. – 2015. – Volume 8, Issue 2, pp. 164-173 // <https://doi.org/10.1016/j.wse.2015.03.001>.
17. Алванян А. К., Овсянников М. В. Использование 3d модели для подсчета объемов вскрышных пород и полезного ископаемого // Вестник Пермского университета. Геология. – 2021. – Т. 20, № 4. – С. 355–361. – DOI 10.17072/psu.geol.20.4.355.
18. Kiriak N. Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods // Nuclear Engineering and Design. – 2021. – Pp. 2–3. – DOI 10.1016/j.nucengdes.2021.111366.

## Об авторах

Александр Алексеевич Токин – научный сотрудник.

Андрей Аркадьевич Шоломицкий – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Владимир Васильевич Щербаков – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой инженерной геодезии.

Получено: 04.06.2025

© А. А. Токин, А. А. Шоломицкий, В. В. Щербаков, 2025

## Adaptive point cloud filtering using the "sliding cone" method

A. A. Tokin<sup>1✉</sup>, A. A. Sholomitskii<sup>2</sup>, V. V. Shcherbakov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Center for Surveying and Geodetic Innovations,  
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup>Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: alexandrtokin@gmail.com

**Abstract.** The authors introduce an innovative filtering technique for point clouds aimed at enhancing the accuracy of surface representation and volume calculations. Point clouds, which consist of 3D spatial data extracted through automated image recognition, are essential for analyzing an object's geometry as well as visualization, and modeling. The proposed "sliding cone" method involves positioning an upward-oriented cone over each point in the cloud, with its generatrix angled to match the natural angle of repose for loose materials. Points located within these cones are identified as noise or irrelevant data and removed, ensuring that the filtered point cloud accurately reflects only the target surface - in this case, the surfaces of bulk material volumes. Validation through comparisons with laser-scanned reference surfaces confirms that the proposed method significantly improves the precision of volume estimations.

**Keywords:** photogrammetry, survey, automatic recognition, filtering, automation, volume estimation, accuracy

## REFERENCES

1. Tokin, A. A. (2024). Photogrammetric method for surveying bulk materials in warehouses with the placement of IP cameras on lifting mechanisms *Mine Surveying Bulletin [Marksheyderskiy vestnik]*., No. 2 (152), pp. 31–38 [in Russian].
2. Rogova, N. S. (2018) The use of non-metric digital cameras for monitoring the volume of moved soil during earthworks at construction sites *Innovations and Investments [Innovatsii i investitsii]*., No. 4, pp. 356–359 [in Russian].
3. Smolyaninova E. N., Polishchuk E. V. (2019). Problems of modern warehouse logistics [Problemy sovremennoy skladsКОЙ logistiki] // Tolyatti: Azimuth of Scientific Research: Economics and Management [Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie]., Vol. 8, No. 2 (27), pp. 292–294 [in Russian].
4. Pastukhova, G. V., Zotin, D. A., Toropov, I. (2023). Patent "System for automatic calculation of bulk material volumes in closed-type warehouses" [Sistema avtomaticheskogo rascheta ob'yemov sypuchego materiala na skladakh zakrytogo tipa] RU2788655C1 [in Russian].
5. Salnikov, V. G., Basargin, A. A., Astapov, A. M. (2019) Analysis of methods for calculating the volume of bulk material stockpiles *Interexpo Geo-Siberia [Intereksपो Geo-Sibir']*, pp. 203–211. DOI 10.22764/2618-981X-2019-1-1-203-211 [in Russian].

6. Komissarov, A. V., Avrunev, E. I., Yambaev, Kh. K., Khlebnikova, E. P. (2019). Comparison of the accuracy of determining the volumes of bulk materials based on UAV surveys and geodetic measurements *Vestnik SSUGT [Vestnik SGUGiT]*, Vol. 24, No. 4, pp. 70–77. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-4-70-77 [in Russian].
7. Tucci G., Gebbia A., Conti A., Fiorini L., Lubello C. (2019). Monitoring and computation of the volumes of stockpiles of bulk material by means of UAV photogrammetric surveying *Remote Sensing*, 11 (12), p. 1471.
8. Danilova L. A., Rashevskiy N. M., Rekunov S. S., Trudov Ya. A., Guryakov A. S. (2024). Classification of dense point clouds in terrain modeling *Academia. Architecture and Construction [Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo]*, No. 3, pp. 76–81. DOI 10.22337/2077-9038-2024-3-76-81 [in Russian].
9. Zhiyang Zhi, Bingtao Chang, Yuan Li, Zhigang Du, Yipeng Zhao, Xiaodong Cui, Jiahuan Ran, Aiguang Li, Wuming Zhang. (2025). P-CSF: Polar coordinate cloth simulation filtering algorithm for multi-type tunnel point clouds *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 155, Part1. DOI 10.1016/j.tust.2024.106144.
10. Xingsheng Deng, Guo Tang, Qingyang Wang. (2022). A novel fast classification filtering algorithm for LiDAR point clouds based on small grid density clustering *Geodesy and Geodynamics*, Vol. 13, Issue 1, pp. 38–49. DOI 10.1016/j.geog.2021.10.002.
11. Mariya Velikova, Juan Fernandez-Diaz, Craig Glennie. (2024). ICESat-2 noise filtering using a point cloud neural network *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.11. DOI 10.1016/j.ophoto.2023.100053.
12. Dubenko Yu. V., Dyshkant E. E., Timchenko N. N., Rudesko N. A. (2021). A method for reconstructing 3D scenes based on the use of convolutional neural networks, distance filtering, and octree [Metod rekonstruktsii trekhmernykh stsen, osnovanny na primenenii svertochnykh neyronnykh setey, fil'tratsii po distantsii i s pomoshch'yu "oktodereva"] // Penza: University News. Volga Region. Technical Sciences [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki], DOI: 10.21685/2072-3059-2021-4-4 [in Russian].
13. Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 2.1. 2024 Retrieved from [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_2\\_1\\_ru.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_1_ru.pdf). Accessed: 29.02.24 [in Russian].
14. Giampiero Mineo, Marco Rosone, Chiara Cappadonia. (2025). Semi-Automated rock block volume extraction from high-resolution 3D point clouds for enhanced rockfall hazard analysis *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 185. DOI 10.1016/j.ijrmms.2024.105982.
15. Tuboltsev V. P., Avdeenok V. L. (2022). Automation of remote sensing data processing *Topical Problems of Aviation and Cosmonautics [Aktual'nyye problemy aviatsii i kosmonavtiki]*, Vol. 2, pp. 182–184 [in Russian].
16. Chao Hu, Yi-hong Zhou, Chun-ju Zhao, Zhi-guo Pan. (2015). Slope excavation quality assessment and excavated volume calculation in hydraulic projects based on laser scanning technology *Water Science and Engineering*, Vol. 8, Issue 2, pp. 164–173. DOI 10.1016/j.wse.2015.03.001.
17. Alvanyan A. K., Ovsyannikov M. V. (2021). The use of 3D modeling for calculating volumes of overburden and minerals *Bulletin of Perm University. Geology [Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya]*, Vol. 20, No. 4, pp. 355–361 [in Russian].
18. Kiriak N. (2021). Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods *Nuclear Engineering and Design*, pp. 2–3. DOI 10.1016/j.nucengdes.2021.111366.

### Authors details

Alexander A. Tokin – Researcher.

Andrei A. Sholomitskii – D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Vladimir V. Shcherbakov – D. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Engineering geodesy

Received 04.06.2025

© A. A. Tokin, A. A. Sholomitskii, V. V. Shcherbakov, 2025

# ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

УДК 528.8:(712.4:625.77)

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-24-32

## Опыт использования материалов дистанционного зондирования Земли для оценки обеспеченности городской территории зелеными насаждениями

Т. А. Хлебникова<sup>1✉</sup>, Л. К. Трубина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: t.a.hlebnikova51@gmail.com

**Аннотация.** В настоящее время повышается интенсивность процессов урбанизации территорий. Проблема обеспеченности городских территорий зелеными насаждениями становится чрезвычайно важной, так как они способствуют снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха, повышению уровня комфортности проживания. Использование материалов дистанционного зондирования Земли обеспечивает получение актуальной пространственно распределенной информации об объектах зеленых насаждений на городской территории и возможность инвентаризации городских зеленых насаждений. В статье рассмотрены результаты исследований отдельных этапов комплекса работ по оценке зеленых насаждений городской территории на примере анализа территории Октябрьского района г. Новосибирска. Исследования выполнялись с использованием материалов дистанционного зондирования Земли – разновременных космических снимков со спутников съемочной системы WorldView-4 средствами отечественного «Комплекса программ автоматизированного дешифрирования и векторизации» (ГИС Панорама). Результаты экспериментальных исследований показали возможность реализации такого подхода для мониторинга городских зеленых насаждений.

**Ключевые слова:** город, зеленые насаждения, материалы дистанционного зондирования, автоматизированное дешифрирование, геоинформационные системы

### Для цитирования:

Хлебникова Т. А., Трубина Л. К. Опыт использования материалов дистанционного зондирования Земли для оценки обеспеченности городской территории зелеными насаждениями // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 24–32. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-24-32

### Введение

В современных условиях с усилением интенсивности процессов урбанизации территорий проблема обеспеченности городских территорий зелеными насаждениями становится чрезвычайно важной, поскольку они реализуют ряд экологических функций, включая снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха. Инвентаризация городских зеленых

насаждений (ГЗН) может осуществляться разными методами. На сегодняшний день по оперативности и эффективности на первый план выходят методы, основанные на использовании материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Анализ материалов ДЗЗ средствами геоинформационных технологий позволяет получать пространственную информацию о распределении зеленых насаждений на городской

территории, создавать тематические карты обеспеченности зелеными насаждениями конкретной структурной единицы города, например, района, оценивать соответствие нормативным требованиям, доступность их населению и решать другие задачи [1].

ГЗН классифицируют по их назначению. Территории, предназначенные для отдыха населения, согласно классификации, относят к территориям общего пользования. Они характеризуются значительными размерами и обилием древесной растительности. В отличие от них жилые кварталы, а также территории лечебных, детских учреждений являются категориями ограниченного пользования и отличаются меньшими по сравнению с вышеуказанной категорией размерами и составом насаждений. Территории промышленных предприятий, включая санитарно-защитные зоны, выделяют в категорию специального назначения. Все указанные зеленые зоны подвержены негативному воздействию различных антропогенных факторов. Учитывая особенности каждой категории для их оценки, формируется индивидуальный набор характеристик, которые могут определяться разными методами, в том числе с использованием материалов дистанционного зондирования Земли [2].

Поскольку материалы ДЗЗ отличаются большим разнообразием, то для исследования той или иной категории зеленых насаждений могут быть выбраны оптимальные с точки зрения разрешения и других параметров снимки. Методы их обработки также могут варьироваться.

Для анализа растительности успешно используются значения вегетационных индексов, вычисляемых на основе сравнения изображений, полученных в разных спектральных диапазонах. В частности, такой подход применяется для оценки ряда характеристик древесных насаждений, занимающих достаточно большую площадь, например, городских лесов или крупных парков, которые изучают по космическим снимкам на основе спектральных индексов [3–5].

Другим решением для исследования таких территорий может быть анализ зеленых насаждений на основе автоматизированного дешифрирования космических изображений,

что позволяет выявить разные типы растительности, в частности, деревья, отделив их от антропогенных объектов. Сочетание результатов обработки данных ДЗЗ с наземными наблюдениями позволит получать дополнительную информацию о видовом составе и состоянии деревьев [6].

Анализ научной литературы показал, что для исследований зеленых насаждений используется преимущественно зарубежное программное обеспечение [7–12]. Поэтому целью данных исследований ставилась задача разработки методики автоматизированного дешифрирования городских территорий, занятых зелеными насаждениями, средствами отечественного программного обеспечения «Комплекса программ автоматизированного дешифрирования и векторизации», который является дополнительным модулем к профессиональной ГИС Панорама [13].

В качестве тестового объекта анализировалась территория Октябрьского района города Новосибирска, на которой определялись границы зеленых насаждений в условиях городской застройки. Для этой цели использовались материалы дистанционного зондирования Земли – разновременные космические снимки со спутников съемочной системы системы WorldView-4 [14].

### ***Методы и материалы***

Для исследований в качестве исходных данных использованы фрагменты архивных снимков (далее – снимки) с площадью покрытия порядка 15 км<sup>2</sup> оптико-электронной многоспектральной съемки спутника WorldView-4 (рис. 1, 2). В номерах фрагментов снимков указаны месяц и год съемки.

Технические характеристики аппаратуры спутника WorldView-1 [WV-1][WV-60], 2[WV-2] [WV-110], 3[WV-3][WV-110], 4[WV-4] [GeoEye] позволяют получать изображения местности в следующих каналах: PAN+RGB+NIR в панхроматическом режиме с разрешением от 0,3 до 0,5 м и в мультиспектральном (4 канала: синий, зеленый, красный и ближний ИК) с разрешением от 1,2 до 1,8 м [14].



а)

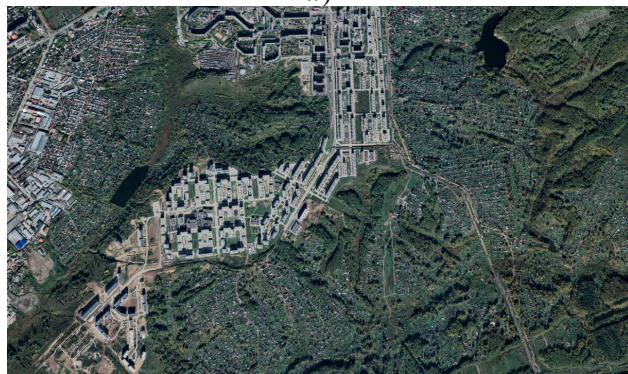


б)

Рис. 1. Фрагменты снимков:  
а) 09-2006; б) 06-2010



а)



б)

Рис. 2. Фрагменты снимков:  
а) 09-2005; б) 09-2020

В СГУГиТ для формирования у обучающихся профессиональных компетенций в области обработки пространственных данных более пятнадцати лет используется ГИС Панорама [13]. Выполнен ряд исследований средствами данной ГИС, которые опубликованы в научных статьях, например, в [15–20].

Комплекс автоматизированного дешифрирования и векторизации по данным ДЗЗ представляет собой дополнительный модуль профессиональной ГИС Панорама.

Методика выполнения работ включала следующие этапы:

- подготовительные работы;
- ориентирование фрагментов снимков с использованием координат и высот опорных точек;
- выполнение автоматизированного дешифрирования и векторизации снимка;
- экспорт векторного плана в ГИС Панорама;
- интерпретация результатов автоматизированного дешифрирования, векторизация (пропущенных) границ контуров лесной растительности в ручном режиме;
- анализ полученных результатов (степень озелененности исследуемой городской территории или анализ изменений площадей зеленых насаждений при наличии разновременных снимков).

Предварительная обработка космических изображений проводилась с использованием стандартных функций соответствующего программного обеспечения (IMAGINE OrthoBase, фирма ERDAS, Inc., США).

«Программный комплекс автоматизированного дешифрирования и векторизации (далее – «Комплекс Дешифрирования») предназначен для автоматической векторизации линейных и площадных объектов по панхроматическим, цветным и мультиспектральным изображениям земной поверхности» [21]. В документации комплекса указано, что «векторизация площадных объектов наиболее эффективна при распознавании площадных объектов гидрографии и растительности» [21].

Последовательность выполнения работ средствами программы «Комплекс Дешифрирования» площадных объектов леса включает [21]:

- создание рабочего проекта для каждого снимка (в проекте хранятся значения параметров распознавания, список выполненных этапов. Эти данные позволяют продолжать или начинать работу с любого этапа обработки);
  - анализ границ и поиск областей теней;
  - разработка классификации, векторизация площадей шаблонов для созданных классов;
  - настройка и ввод значений параметров и классификация;
  - удаление областей по заданному минимальному значению;
  - удаление участков теней;
  - эрозия малоконтрастных областей растрового изображения;
  - наращивание малоконтрастных областей растрового изображения;
  - сглаживание границ векторизованных объектов леса;
  - преобразование растрового изображения с результатами классификации в векторный план (карту);
  - сглаживание, фильтрация, удаление площадных объектов леса по заданному минимальному значению;
  - экспорт в форматы ГИС Панорама, SHP.
- Пример главного окна «Комплекса Дешифрирования» показан на рис. 3 с результатами выделения древесных насаждений (леса).

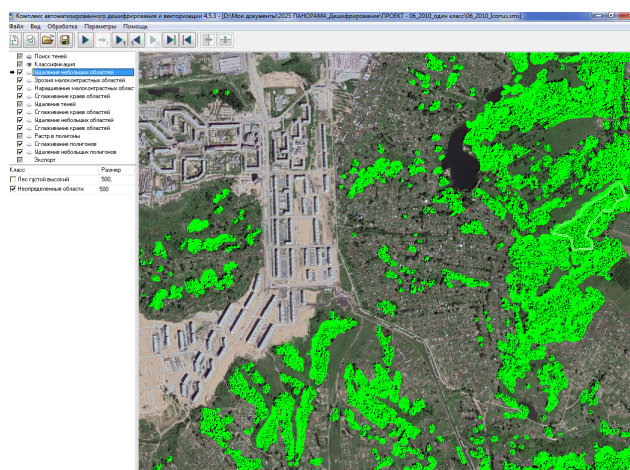


Рис. 3. Изображение главного окна программы и фрагмента снимка 09-2010 с результатами классификации участков леса (один класс леса)

Если выполняется обработка мультиспектрального снимка, то есть возможность

настройки каналов, по которым отображается снимок в правой части главного окна программы. Значения настроенных каналов необходимы при вычислении яркости пикселя (как среднее из красной, синей и зеленой составляющих цвета пикселя) на этапе поиска областей теней при распознавании объектов лесных насаждений.

Для выполнения автоматической векторизации лесных участков создаются классы (рис. 4), затем шаблоны – типичные области на снимке, принадлежащие распознаваемым объектам, в данных исследованиях – участкам леса. Пример шаблона приведен на рис. 5.

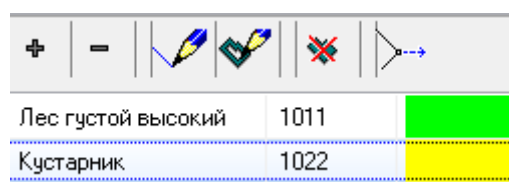


Рис. 4. Панель для векторизации шаблонов и пример таблицы классов



Рис. 5. Пример векторизации шаблонов (лес низкорослый)

Настройка параметров классификации (размер окна, уровень обобщения классификатора, допустимый процент теневых пикселей окна, выбор дешифровочных признаков) выполняется с учетом рекомендаций технической документации «Комплекса Дешифрирования», а также эмпирическим путем.

Дешифровочные признаки в «Комплексе Дешифрирования» – статистические и текстурные характеристики, которые вычисляются по цвету пикселей спектрального канала, попадающих в границы окна сканирования при обработке изображения.

К статистическим характеристикам относятся следующие:

$$- \text{средний цвет } \mu = \frac{\sum I}{N}; \quad (1)$$

$$- \text{среднее квадратическое отклонение } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (I - \mu)^2}{N}}. \quad (2)$$

В формулах (1)–(2) использованы следующие обозначения:

$I$  – цвет пикселя выбранного спектрального канала;

$N$  – число пикселей в окне сканирования;

$\mu_{i,j}$  – среднее значение из элементов матрицы смежности, вычисленное по строкам и столбцам;

$\sigma_{i,j}$  – среднее квадратическое отклонение от среднего  $\mu_{i,j}$ , вычисленное по строкам и столбцам.

К текстурным характеристикам относятся: текстурная энергия, текстурная энтропия, текстурный контраст, текстурная неоднородность, текстурная однородность. Формулы определения текстурных характеристик приведены в [21].

### Обсуждение и результаты

Достоверные результаты классификации с первого раза обработки получить практически невозможно, поэтому классы и шаблоны редактируются и добавляются итерационно. Организация проекта обработки в этом отношении удобна.

Интерфейс программы позволяет выполнять редактирование, добавление и удаление дешифровочных признаков по каналам. После завершения процесса классификации классифицированные объекты закрашиваются цветом созданных классов, например желтым – лес густой высокий, зеленым – лес низкорослый (рис. 6). Интерфейс программы позволяет ввести большое количество дешифровочных признаков. В этом случае увеличивается объем памяти для хранения многомерного массива распределения признаков.

Перед выполнением этапа удаления небольших областей указываются удаляемые классы и значение максимального размера в пикселях.

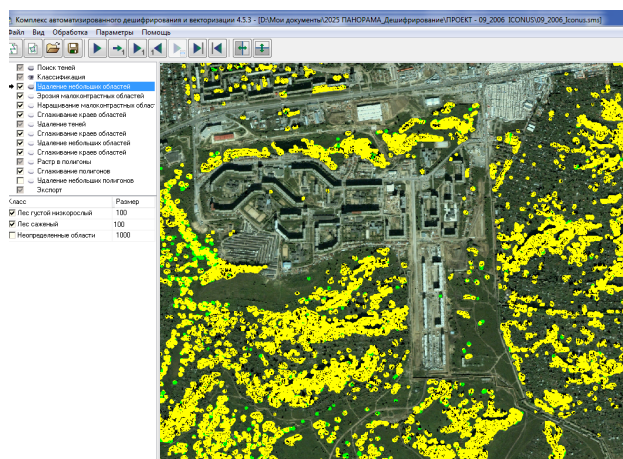


Рис. 6. Изображение фрагмента снимка 09-2006 с результатами классификации участков леса (два класса леса)

Выполнение опции «Эрозия и наращивание малоcontrastных областей» позволяет точнее определять границы между контрастными (лес) и малоcontrastными (луговая растительность) классами. Итерация «эрозия» осуществляет удаление крайних пикселей на границах областей малоcontrastных классов. Для выполнения этапа наращивания малоcontrastных областей для каждого малоcontrastного класса устанавливаются необходимые параметры, которые зависят от исходного изображения.

После сглаживания областей классифицированных объектов леса они преобразуются в векторные полигоны. Распознанные объекты леса сохраняются в форматах SIT, SXF, SHP. При включении соответствующего режима векторный план будет открыт в ГИС Панорама. Это позволяет определять как площади выбранных лесных участков, так и суммарную площадь всех участков на заданной территории.

Выполнение этапов эрозии и наращивания малоcontrastных областей (при различных параметрах) не привело к более достоверному распознаванию областей лесных участков.

Оптимальное число параметров классификации для задачи определения площадей лесных участков для выбранной тестовой территории города Новосибирска – не более двух.

Полученные результаты указывают на принципиальную возможность использования «Комплекса программ автоматизирован-

ного дешифрирования и векторизации» для определения границ зеленых зон на городской территории.

### Заключение

Результаты экспериментальных исследований по применению «Комплекса программ автоматизированного дешифрирования и векторизации» для определения границ зеленых насаждений на территории города Новосибирска показали возможность реализации такого подхода для мониторинга ГЗН. Внедрение представленной методики, реализуемой на отечественном программном обеспечении, позволит повысить эффективность управле-

ния зелеными насаждениями за счет их учета дистанционным методом вместо наземного, что сокращает сроки проведения работ и уменьшает их объем. Дальнейшие исследования на эту тему будут посвящены оценке изменения (динамике) площадей зеленых насаждений за период 2006–2010 и 2020 гг. на выбранной территории города Новосибирска.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность доценту кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела М. А. Алтынцеву за консультацию при подготовке данных ДЗЗ при выполнении исследований.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильева Е. А., Николаева О. Н., Трубина Л. К. Опыт подеревной инвентаризации и картографирования городских зеленых насаждений общего пользования // ИнтерКарто. Интер ГИС. – 2021. – Т. 27. – С. 274 – 284. – DOI 10.35595/2414-9179-2021-3-27-274-284.
2. Трубина Л. К., Лисакова О. А., Соколов Д. А. Комплексный мониторинг зеленых насаждений городских территорий // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс, 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 4 : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – № 2. – С. 152–157.
3. Китаева А. А., Алексеев Д. К. Динамика зеленых насаждений города Кудрово (по данным дистанционного зондирования) // Экология. Экономика. Информатика. Сер. Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – 2022. – Т. 2, № 7. – С. 43–46. – DOI 10.23885/2500-123X-2022-2-7-43-46.
4. Алексеев Д. К., Бабин А. В., Саргаева В. Ю. Динамика зеленых насаждений Санкт-Петербурга по данным дистанционного зондирования // Экология. Экономика. Информатика. Сер. Геоинформационные технологии и космический мониторинг, 2021. – Т. 2, № 6. – С. 38–41. – DOI 10.23885/2500-123X-2021-2-6-38-41.
5. Ковязин В. Ф., Пасько О. А., Борисова А. О., Нгуен Ч. А. Совершенствование метода инвентаризации земель рекреационных зон на примере парка Сосновка города Санкт-Петербург // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336, № 4. – С. 169–178.
6. Трубина Л. К., Лисакова О. А., Хлебникова Т. А. Зеленая инфраструктура как инструмент устойчивого развития урбанизированных территорий // Вестник СГУГиТ. – Т. 28, № 5. – 2023. – С. 140–150. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-140-150.
7. Cavayas, F., Ramos, Y., Boye A. Inventory of urban green spaces and their monitoring using WorldView-2 // Geomatics. – 2011. – No. 3. – P. 67–73.
8. Гук А. П., Евстратова Л. Г., Хлебникова Е. П., Арбузов С. А., Алтынцев М. А., Гордиенко А. С., Гук А. А., Симонов Д. П. Дешифровочные признаки изображений объектов на многоспектральных космических снимках. Разработка методик автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 31–40.
9. Алтынцев М. А., Шляхова М. М. Исследование статистических свойств спектральных характеристик растительности. Непараметрический подход // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 58–69. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-58-69.

10. Гордиенко А. С., Кулик Е. Н. Данные дистанционного зондирования Земли при оценке экологоэкономического ущерба от загрязнений окружающей среды нефтью // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 37–46. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-37-46.
11. Гулиев А. Ш., Хлебникова Т. А. Исследование возможностей обработки радиолокационных и многозональных космических изображений подстилающей поверхности // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 102–114. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-102-114.
12. Арбузов С. А., Хлебникова Е. П., Никитин В. Н. Автоматизированная идентификация и определение породного состава древесных растений по материалам цифровой многозональной аэросъемки лесных массивов // Вестник СГУГиТ. – 2020 – Т. 25, № 4. – С. 68–76. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-68-76.
13. ГИС Панорама. Картография. Фотограмметрия. [Электронный ресурс]. – URL: [https://gisinfo.ru/products/products\\_cartography.htm](https://gisinfo.ru/products/products_cartography.htm) (дата обращения: 15.03.2025).
14. Техническая информация данных компании DigitalGlobe [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.digitalglobe.com/resources/technical-information> (дата обращения: 11.03.2025).
15. Журкин И. Г., Хлебникова Т. А. Результаты экспериментальных исследований технологии получения измерительной трехмерной видеосцены по материалам аэрокосмических съемок // Геодезия и картография. – 2010. – № 7. – С. 27–31.
16. Khlebnikova T. A. Research and technology development for construction of 3-D videoscenes // *Isprs Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume III-6, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.*
17. Хлебникова Т. А., Кулик Е. Н. Результаты экспериментальных исследований технологии получения измерительной трехмерной видеосцены по материалам аэрокосмических съемок // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 74–82.
18. Журкин И. Г., Хлебникова Т. А. Цифровое моделирование измерительных трехмерных видеосцен : монография. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 246 с.
19. Хлебникова Т. А., Трубина Л. К. Возможности использования трехмерных видеосцен в экологической оценке состояния городских территорий // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 170–174.
20. Трубина Л. К., Хлебникова Т. А., Николаева О. Н. Методические подходы к созданию 3d-моделей для исследования экологического состояния городских территорий // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 199–205.
21. Комплекс автоматизированного дешифрирования и векторизации данных ДЗЗ [Электронный ресурс]. – URL: <https://gistoolkit.com/download/doc/automapdoc.pdf>.

### Об авторах

*Татьяна Александровна Хлебникова* – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

*Людмила Константиновна Трубина* – доктор технических наук, профессор кафедры экологии и природопользования.

Получено 05.06.2025

© Т. А. Хлебникова, Л. К. Трубина, 2025

### **Leveraging remote sensing data for assessing urban green space availability: methodology and case study**

*T. A. Khlebnikova<sup>1</sup>✉, L. K. Trubina<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: [t.a.hlebnikova51@gmail.com](mailto:t.a.hlebnikova51@gmail.com)

**Abstract.** The rapid intensification of urbanization processes has heightened the importance of ensuring adequate green space within urban environments, given their critical role in reducing air pol-

lution and improving residential comfort. Using remote sensing data provides timely, spatially detailed information on urban vegetation, facilitating comprehensive inventories of green spaces. The findings from a multi-stage evaluation of urban green spaces, exemplified by an analysis of the Oktyabrsky District in Novosibirsk are presented in the study. The research employed multi-temporal satellite imagery from the WorldView-4 system, processed using the domestic Automated Decoding and Vectorization Software Suite (GIS Panorama). Experimental results confirm the effectiveness of the remote sensing-based approach for ongoing monitoring and assessment of urban green plantations, demonstrating its potential as a valuable tool for urban environmental management.

**Keywords:** city, green spaces, remote sensing data, automated decoding, geographic information systems (GIS)

## REFERENCES

1. Vasilieva E. A., Nikolaeva O. N., Trubina L. K. (2021) A case-study of tree inventory and mapping of public green spaces. *InterCarto. InterGIS [InterCarto. InterGIS]* V. 27. Part 3. P. 274–284. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-274-284 [in Russian].
2. Trubina, L. K., Lisakova, O. A., & Sokolov D. A. (2023) Comprehensive monitoring of urban green spaces. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2023: Mezhdunarodnyj nauchnyj congress: T.4. Distancionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchej sredy, geoekologiya [International Scientific Congress GEO-Sibir'-2023: Vol. 4 Remote sensing methods and photogrammetry, environmental monitoring, geoecology]* (pp. 152–157) [in Russian].
3. Kitaeva, A. A., & Alexeev, D. K. (2022) Dynamics of urban green space for the city of Kudrovo using remote sensing *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnyye tekhnologii i kosmiche-skiy monitoring [Ecology.Economics Science Series:Geoinformation Technologies and Space Monitoring]*. V. 2, 6. Pp. 38–41.
4. Alexeev, D. K., Babin, A. V., & Sargaeva, V. Yu. (2021) Dynamic of green space in Petersburg according to remote sensing data *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnyye tekhnologii i kosmiche-skiy monitoring [Ecology.Economics Science Series:Geoinformation Technologies and Space Monitoring]*. V/2, 6. Pp. 38–41.
5. Kovyazin V. F., Olga A. Pasko, Arina O. Borisova, An T. Nguyen (2025) Improving the method of inventory of lands of recreational zones on the example of Sosnovka Park in Bulletin of the Tomsk Polytechnic University *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [News of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering]*. V. 336. 4. Pp. 169–178 [in Russian].
6. Trubina, L. K., Lisakova, O. A., Khlebnikova, T. A. (2023). Green infrastructure as a tool for sustainable development of urbanized territories *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 5(31), pp.140–150. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-140-150 [in Russian].
7. F. Cavailles, J. Ramos, A. Boyer (2011) Inventory of urban green spaces and their monitoring using WorldView-2 data. *Geomatics [Geomatics]*. No. 3. Pp. 67–73.
8. Guk, A. P., Evstratova L. G., Hlebnikova, E. P., Arbuzov, S. A., Altynzev, M. A. Gordienko, A. S., Guk, A. A. (2013). Development of methods for automated interpretation of satellite images. Interpretation signs of images of objects on multispectral satellite data. *Geodezija i kartografija [Geodesy and Cartography]*, 7, pp. 31–40 [in Russian].
9. Altyntsev M. A., Shlyahova M. M. (2019) Investigation of statistical properties of spectral characteristics of vegetation. Non-parametric approach *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. 24(4), pp. 58–69. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-58-69 [in Russian].
10. Gordienko, A. S., & Kulik E. N. (2021). Data of remote sensing of the earth in assessing environmental and economic damage from oil pollution. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(2), pp.37–46. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-37-46 [in Russian].

11. Guliyev, A. Sh., & Khlebnikova, T. A. (2022). Investigation of the possibilities of processing radar and multi-zone space images of the underlying surface. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(2), 102–114. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-102-114 [in Russian].
12. Arbuzov, S.A., Khlebnikova, E.P. Nikitin, V.N. (2020) Automated identification and determination of the breed composition of wood by materials of digital multispectral aerial survey of forests. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(4), pp. 68–76. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-68-76 [in Russian].
13. GIS Panorama. Cartography. Photogrammetry. Retrieved from [https://gisinfo.ru/products/products\\_cartography.htm](https://gisinfo.ru/products/products_cartography.htm) (access March 15, 2025).
14. Technical information from DigitalGlobe. Retrieved from <https://www.digital-globe.com/resources/technical-information> (access March 11, 2025).
15. Zhurkin I. G., Khlebnikova T. A. (2010) Experimental studies results of measuring technology of three-dimensional videoscene based on aerospace photography. *Geodezija i kartografija [Geodesy and Cartography]*, 7, pp. 27–31 [in Russian].
16. Khlebnikova T. A. (2016) RESEARCH AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR CONSTRUCTION OF 3 D VIDEOSCENES. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume III-6, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic*.
17. Khlebnikova, T. A., Kulik, Ye. N. (2010). The results of experimental investigations of 3-dimensional standardised video stage technology obtaining based on aerospace surveying data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1, pp. 74–82 [in Russian].
18. Zhurkin, I. G., & Khlebnikova, T. A. (2012). *Tsifrovoye modelirovaniye izmeritelnykh tryokhmernykh video stage [Digital standart of 3D video scenes for measuring purposes]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 246 p. [in Russian].
19. Khlebnikova, T. A., & Trubina, L. K. (2015). The possibility of using three-dimensional video scenes in the environmental assessment of urban areas. *Izvestia Vuzov. Geodezija i ajerofotosemka [Geodesy and Aerophotography]*, S/5, pp. 170–174 [in Russian].
20. Trubina, L. K., Khlebnikova, T. A. & Nikolaeva, O. N. (2017). Methodological approaches to developing 3D models for investigating the ecological status of urban territories. *Geografija and Natural resources [Geografija and Natural resources]*, V2, pp. 199–205 [in Russian].
21. Complex for automated decoding and vectorization of remote sensing data Retrieved from <https://gistoolkit.com/download/doc/automapdoc.pdf>.

### Author details

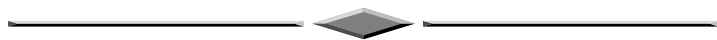
*Tatyana A. Khlebnikova* – D. Sc., Professor of the Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

*Lyudmila K. Trubina* – D. Sc., Professor of the Department of Ecology and Nature Management.

Received 04.06.2025

© T. A. Khlebnikova, L. K. Trubina, 2025

# КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА



УДК 528.9:004.891.2

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-33-40

## Формирование картографических материалов по текстам тревелогов с использованием механизмов генерации с дополненной выборкой

*А. А. Колесников<sup>1✉</sup>, С. С. Жданов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет, языковой центр «Лингва», г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: alexeykw@mail.ru

**Аннотация.** Предложено решение проблемы ограничений в ответах больших языковых моделей относительно актуальных и специализированных данных посредством использования методов генерации с дополненной выборкой. Рассмотрены существующие подходы и технические решения данного варианта построения запросов к базам данных, а также примеры использования в задачах картографирования маршрутов из тревелогов, их анализа и проверки на основе существующих картографических и геоинформационных материалов. Описан механизм преобразования имеющихся картографических материалов в текстовое описание посредством использования типовых шаблонов для разных видов объектов, где отдельные параметры заполняются на основе конкретных текстовых и числовых значений, получаемых из геометрических характеристик и атрибутивных значений объектов векторной карты. Выполнена апробация предлагаемого подхода на основе геоинформационной системы QGIS, векторной базы данных FIASS, векторизатора и большой языковой модели YandexGPT.

**Ключевые слова:** тематическая картография, языковая модель, тревелогов, генерация с дополненной выборкой, машинное обучение

### Для цитирования:

*Колесников А. А., Жданов С. С.* Формирование картографических материалов по текстам тревелогов с использованием механизмов генерации с дополненной выборкой // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 33–40. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-33-40

### Введение

Несмотря на то что основная часть картографических материалов представлена в графическом виде, современные технологии обработки текста могут найти свое применение в области картографии и геоинформатики. Среди примеров такого использования можно привести построение запросов на естественном языке для получения координат объектов, расстояний и площадей, построения маршрутов,

географического описания территорий [1, 2], поиска инструментов для выполнения определенных действий в ГИС [3], построения SQL запросов и программного кода [4], структуризации и формализации процессов обработки пространственных данных [5]. Технически данный подход реализуется сейчас в большинстве случаев посредством применения больших языковых моделей, что позволяет выполнять эти операции максимально быстро, составляя запросы на естественном языке, при этом за-

частую нет необходимости быть специалистом в области геоинформационных технологий. Основная проблема этого подхода заключается в том, что большие языковые модели обучаются на определенных корпусах текстов, которые ограничены по объему и временному интервалу сбора [6]. То есть в результатах ответа на запрос не получить самую актуальную информацию (здесь также влияет достаточно длительное время самого процесса обучения) и ту, которая не попала в изначальный набор документов, например, текущие значения статистических параметров (численность населения определенного города за последний месяц). Для решения данной проблемы используются методы генерации с дополненной выборкой (англ. Retrieval-Augmented Generation, RAG) [7]. Они позволяют объединить поиск информации из обычных баз данных с генеративными языковыми моделями для предоставления точных и контекстно обоснованных ответов, в том числе с использованием распределенных систем хранения. В данной статье рассматриваются существующие подходы и технические решения данных процессов, а также примеры их использования применительно к задачам картографирования маршрутов из тревелогов, последующего анализа и проверки с использованием существующих картографических материалов, геоинформационных баз данных. Интеграция технологий обработки естественного языка в виде больших языковых моделей в процессы картографирования маршрутов по текстам тревелогов представляет собой инновационные технические решения в обоих направлениях исследований. Этот синтез позволяет улучшить интерпретацию и использование данных о путешествиях, обеспечивая лучшие способы графического представления маршрутов и более глубокий анализ повествования, а также, с другой стороны, получить возможность представления картографических и геоинформационных материалов в виде текстовых описаний.

### **Методы и материалы**

При автоматизации анализа текстов тревелогов большие языковые модели могут улуч-

шить распознавание элементов маршрутов путем использования процесса извлечения именованных сущностей. Их применение необходимо для получения значимых данных из путевых заметок, таких как местоположения, виды деятельности, даты, транспорт, впечатления и т. д. Последние исследования показывают, что традиционные методы распознавания именованных сущностей часто недостаточно качественны при разборе сложных ситуаций, связей между понятиями в пределах абзаца. Naraki и др. [8] предлагают гибридный подход к аннотированию, который сочетает разметку специалистами с возможностями больших языковых моделей. Их исследование демонстрирует, что предлагаемый метод значительно повышает качество извлечения именованных сущностей, одновременно решая такие проблемы, как шумовые аннотации и дисбаланс классов. Используя большие языковые модели, этот гибридный метод не только улучшает качество анализа наборов данных тревелогов, но и представляет собой менее ресурсозатратное решение проблем, присущих ручному аннотированию. Wang и др. [9] представляют GPT-NER, который адаптирует большую языковую модель для последовательной обработки задач поиска именованных сущностей. Эта модель преобразует данную задачу в процесс генерации, с которой большие языковые модели могут справиться более компетентно. Их выводы показывают, что GPT-NER превосходит традиционные методы, особенно в условиях ограниченных обучающих выборок, что достаточно актуально для текстов тревелогов. Извлечение информации является важным компонентом в преобразовании неструктурированных данных описаний путешествий в формализованные структуры, которые можно легко анализировать и использовать. Zhichao и др. [10] исследуют производительность больших языковых моделей для китайского языка с открытым исходным кодом в задачах анализа текстов, уделяя особое внимание их возможностям в условиях нулевого и малого количества попыток. Их сравнительный анализ подчеркивает сильные стороны и ограничения моделей с открытым исходным кодом по сравнению с коммерческими вариантами, такими как ChatGPT,

YandexGPT, GigaChat, предоставляя информацию о том, как эти технологии могут использоваться в реальных приложениях для путешествий. Результаты этого исследования показывают, что в то время как основные большие языковые модели адекватно работают на английском языке, проблемы, возникающие в других языках, таких как китайский, могут повлиять на эффективность извлечения данных тревелогов. Это ставит важные вопросы об адаптации LLM к многоязычным данным о путешествиях и о том, как их можно оптимизировать для улучшения общего качества обработки за счет эффективного извлечения информации, в том числе и на основе использования механизмов RAG.

Структура RAG состоит из элементов *Retriever*, отвечающих за извлечение соответствующих документов или знаний из большого внешнего корпуса документов, и *Generator*, представляющего собой языковую модель, синтезирующую контекстно зависимый ответ из извлеченной информации и входного запроса [11, 12].

*Retriever* обычно основан на методах векторного или токенового поиска. Его роль заключается в поиске фрагментов информации (представленного как частями текстов, так и полными документами), которые релевантны заданному запросу. Векторный поиск базируется на числовых последовательностях (эмбедингах), которые сгенерированы из запросов и документов, сходство которых измеряется с помощью метрики расстояния между символами (например, косинусное сходство) [13]. С точки зрения пространственных данных вектора могут формироваться как из текстовых атрибутов, так и из преобразованных в строки представлений координат, пространственных связей, числовых атрибутов. Токенный поиск базируется на сравнении отдельных слов, например, используя методы TF-IDF или BM25. В результате поиска выводится набор (с заданным ранее определенным максимальным числом) документов или отрывков текста, которые затем передаются генератору. *Generator* обычно представляет собой большую языковую модель, которая генерирует связный ответ на основе как входного запроса, так и извлеченных документов.

Выделяют три основных типа реализации RAG: базовый, расширенный и модульный. Для реализации базового использования RAG требуется сформировать наборы данных, к которым будут выполняться запросы, преобразовать в вектора (создать эмбединги) и загрузить их в векторную базу данных, задействовать механизм извлечения релевантных элементов на основе разбора текстовых запросов и встроить их в ответы, генерируемые большой языковой моделью, оценить качество полученного результата. Расширенный вариант отличается от базовой схемы наличием этапов предварительной и постобработки извлеченных данных. Предварительная обработка подразумевает улучшение степени релевантности полученного из векторной базы данных набора блоков текста за счет удаления нерелевантной информации, устранения двусмысленности и неточностей, сохранения контекста, обновления устаревших документов и т. д. Кроме этого могут возникать ситуации, когда исходный запрос пользователя может быть не лучшим вариантом для подачи в большую языковую модель, поэтому используются методы переписывания запросов на основе их характеристик для улучшения качества итоговой генерации. Этап постобработки улучшает качество объединения извлеченных данных с запросом пользователя с точки зрения устранения возможного превышения ограничения окна контекста, внесения шума и ухудшения качества ответа. Для решения этих проблем используются повторное ранжирование результатов и сжатие контекста. Повторное ранжирование переупорядочивает извлеченные блоки текста на основе контекстного сходства между содержимым и запросом пользователя. Метод сжатия контекста позволяет уменьшать шум путем сокращения нерелевантной информации и общей длины строк, выделения наиболее важных отрывков. Модульный подход объединяет первые два и делает каждый из этапов независимым от конкретной программной реализации, позволяя использовать разные элементы конвейера обработки от разных разработчиков, дополнительно расширяя функциональность за счет рекурсивного извлечения, использования подзапросов, генерации синтетических ответов [14–17].

Такие подходы являются универсальными, основным отличием между ними будет способ векторизации исходных данных. В статье предлагается подход обработки картографических материалов в механизмах RAG на примере обработки данных травелогов.

### Результаты

Основываясь на рассмотренных выше методах RAG, предлагается три возможных варианта использования при обработке данных травелогов:

- 1) формирование базы данных, позволяющей реализовать извлечение нужных сведений из текстовых данных совместно с запросами в геоинформационной системе;
- 2) выполнение сравнения характеристик и текстового описания определенных объектов (например, идентифицируемых по названию)

для поиска несоответствий между двумя базами исходных текстов и картографической информацией, преобразованной в текст;

3) поиск наиболее вероятного местоположения на основе сравнения текстового описания и картографической информации, преобразованной в текст.

Для второго и третьего вариантов требуется преобразовать имеющиеся картографические материалы в текстовое описание. Данный процесс выполняется посредством использования типовых шаблонов для разных видов объектов, где отдельные параметры заполняются на основе конкретных текстовых и числовых значений, получаемых из геометрических характеристик и атрибутивных значений объектов векторной карты в ГИС. Итоговая схема предлагаемого подхода представлена на рисунке.

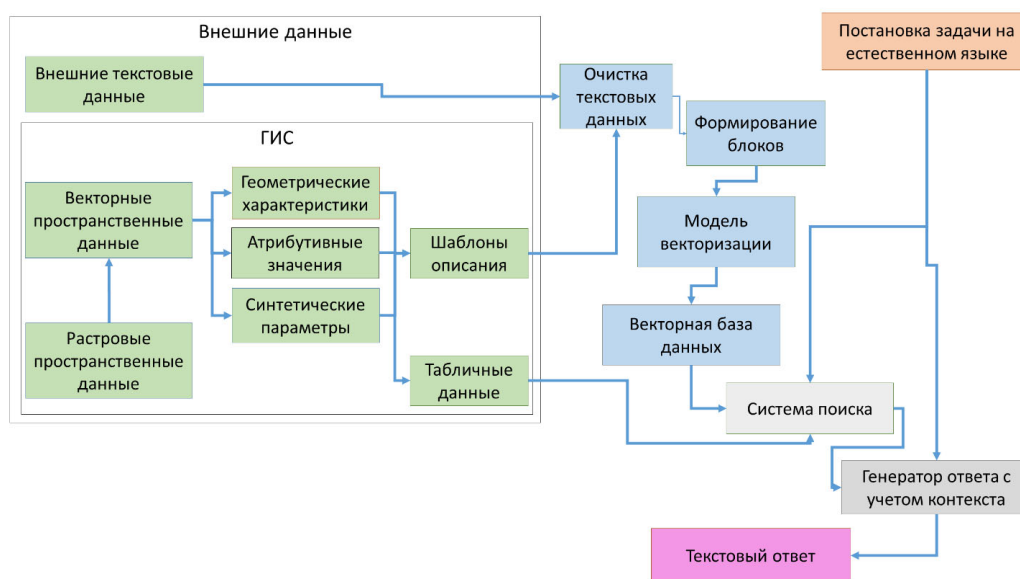


Схема использования RAG при совместной обработке текстовых и пространственных данных

На основе анализа текстов предлагаются следующие наборы элементов описания объектов карты:

- населенные пункты: название, тип, дата основания, численность, преобладающий тип строений, преобладающая этажность, основные значимые объекты;
- предприятия и объекты сервиса: название, адрес, тип продукции;

– реки: название, протяженность, основные объекты на берегах, судоходность, перепад глубин, характер относительно основного рельефа;

– озера: название, площадь, периметр, основные объекты на берегах, судоходность, перепад глубин, соленость;

– леса: название, площадь, преобладающий тип растительности, тип геометрии;

– крупные объекты рельефа: название, тип объекта, площадь, длина, перепад высот/глубин, классификация на основе ТРІ;

– дорожная сеть: название, тип объекта, типы транспорта, протяженность, основные объекты, граничащие с элементом дорожной сети.

Примерами таковых шаблонов могут быть фразы: ориентирами будет <объект>, находящийся на севере на расстоянии <расстояние> метров, и <объект>, находящийся на западе на расстоянии <расстояние> метров; река <название> имеет <тип рельефа> характер, протяженность <длина объекта> километров (где значения параметров, обозначенные в треугольных скобках, вычисляются посредством геоинформационной системы; предлагаемые шаблоны размещены в репозитории по адресу <https://github.com/AlexeyKW/travelogs>).

Для апробации предлагаемого подхода реализовано программное обеспечение на основе геоинформационной системы QGIS, векторной базы данных FIASS, векторизатора и большой языковой модели YandexGPT. Предлагаемое решение позволило реализовать функциональность запросов на естественном языке применительно к имеющейся базе данных тревелогов и векторным картографическим материалам, выполнять сравнительный анализ (по метрикам BLEU, ROUGE, SemScore) текстового описания отдельных объектов, идентифицируемых по их названию, координировать фрагменты текстового описания на основе сравнения с существующими текстовыми описаниями картографических объектов.

### Заключение

На основе опыта использования RAG-технологий для картографирования текстов тревелогов можно сделать общий вывод о том, что они позволяют автоматизировать (на величину порядка 40 %) ряд процессов

сравнительного анализа текстовых и картографических данных. Этот вариант позволяет сочетать преимущества больших языковых моделей, а также точные и актуальные значения из геоинформационных баз данных.

Предложенные три варианта использования RAG в виде построения запросов на естественном языке, выполнения сравнительного анализа и координирования текстового описания объекта позволили автоматизировать процессы верификации и анализа текстов тревелогов. Разработанные шаблоны генерации описания местности и отдельных объектов позволяют обрабатывать картографические данные большими языковыми моделями.

Результаты проделанной работы свидетельствуют о том, что необходимо провести дальнейшие исследования в области тонкой настройки (fine-tuning) языковых моделей и их использования для мультитименных геоинформационных баз данных с целью отслеживания изменений топонимов с течением времени, формирования теоретического (интерполяционного) местоположения объектов местности по их контекстному описанию в тексте.

*Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ № 24-28-01431 «Репрезентация пространства Украины в русской культуре конца XVIII – XIX веков (на материале отечественных тревелогов): дискурсы, нарративы, топонимы» (<https://rscf.ru/project/24-28-01431/>), реализуемого по направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации») «Н5 – Противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства».*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mai G., Huang W., Sun J., Song S., Mishra D., Liu N., Gao S., Liu T., Cong G., Hu Y., Cundy C., Li Z., Zhu R., Lao N. On the Opportunities and Challenges of Foundation Models for GeoAI (Vision Paper) // ACM Trans. Spatial Algorithms Syst, 2024. – 10(2)-11. – P. 46. – DOI 10.1145/3653070.

2. Jonathan R., Luddecke T., Das S., Han K., Albanie S. GPT4GEO: How a Language Model Sees the World's Geography [Electronic resource] // ArXiv abs/2306.00020, 2023. – URL: <https://arxiv.org/abs/2306.00020> (дата обращения: 05.11.2024).
3. Li Z., Ning H. Autonomous GIS: the next-generation AI-powered GIS // International Journal of Digital Earth, 2023. – 16 (2). – P. 4668–4686. – DOI 10.1080/17538947.2023.2278895.
4. Ran T., Xu J. Mapping with ChatGPT // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2023. – Vol. 12. – No. 7. – P. 284. – DOI 10.3390/ijgi12070284.
5. Sambandam P., Yuvaraj D., Padmakumari P., Swaminathan S. Deep attention based optimized Bi-LSTM for improving geospatial data ontology // Data & Knowledge Engineering. – 2023. – Vol. 144. – P. 102123. – DOI 10.1016/j.datak.2022.102123.
6. Скрынникова И. В. Интерпретационные проблемы LLM: загадки образного языка // Когнитивные исследования языка. – 2024. – № 2-2 (58). – С. 638–642.
7. Lewis P., Piktus A., Petroni F. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks // Advances in Neural Information Processing Systems (Virtual, Online, 06–12 декабря 2020 г.). – P. 34.
8. Naraki Y., Yamaki R., Ikeda Y., Horie T., Naganuma H. Augmenting NER Datasets with LLMs: Towards Automated and Refined Annotation // ArXiv abs:2404.01334v1 [cs.CL], 2024. – URL: <https://arxiv.org/abs/2404.01334> (дата обращения: 05.11.2024).
9. Wang S., Sun X., Li X., Ouyang R., Wu F., Zhang T., Li J., Wang G. GPT-NER: Named Entity Recognition via Large Language Models // ArXiv abs: 2304.10428, 2023. – URL: <https://arxiv.org/abs/2304.10428> (дата обращения: 05.11.2024).
10. Zhichao Z., Zhao Q., Li J., Ge Y., Ding X., Gu T., Zou J., Lv S., Wang S., Yang J. Comparative Analysis of Large Language Models in Chinese Medical Named Entity Recognition // Bioengineering, 2024. – Vol. 11. – No. 10. – P. 982. – DOI 10.3390/bioengineering11100982.
11. Ja P. Automating Threat Intelligence Analysis with Retrieval Augmented Generation (RAG) for Enhanced Cybersecurity Posture // International Journal of Science and Research, 2024. – Vol. 13, No. 5. – P. 251–255. – DOI 10.21275/sr24502103758.
12. Mozharovskii E. Evaluating Retrieval-Augmented Generation (RAG) techniques in enhancing LMS for coding tasks // Universum: технические науки, 2024. – No. 6-6 (123). – P. 22–26.
13. Томилов Н. А., Туров В. П., Бабаянц А. А., Платонов А. В. Метод хранения векторных представлений в сжатом виде с применением кластеризации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2024. – Т. 24, № 1. – С. 112–117. – DOI 10.17586/2226-1494-2024-24-1-112-117.
14. Unlu O., Shin Ch. J., Mailly J. Retrieval-Augmented Generation-Enabled GPT-4 for Clinical Trial Screening // NEJM AI, 2024. – Vol. 1, No. 7. – DOI 10.1056/aioa2400181.
15. Martin A., Witschel H. F., Mandl M., Stockhecke M. Semantic Verification in Large Language Model-based Retrieval Augmented Generation // Proceedings of the AAI Symposium Series, 2024. – Vol. 3, No. 1. – P. 188–192. – DOI 10.1609/aaais.v3i1.31199.
16. Федоров В. О., Поляков Р. А. Большие языковые модели с поисковой расширенной генерацией: обзор и перспективы // Оригинальные исследования. – 2023. – Т. 13, № 12. – С. 43–47.
17. Kang S. H., Kim S. J. M-RAG: Enhancing Open-domain Question Answering with Metadata Retrieval-Augmented Generation // Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, 2023. – Vol. 27, No. 12. – P. 1489–1500. – DOI 10.6109/jkiice.2023.27.12.1489.

## Об авторах

*Алексей Александрович Колесников* – кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник.

*Сергей Сергеевич Жданов* – доктор филологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник.

Получено 12.11.2024

© А. А. Колесников, С. С. Жданов, 2025

## From travelogues to maps: generating cartographic materials using retrieval-augmented generation

A. A. Kolesnikov<sup>1</sup>, S. S. Zhdanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, Lingua Language Center,  
Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: alexeykw@mail.ru

**Abstract.** The authors propose an approach to overcoming the limitations of large language models in generating responses involving current and domain-specific data by applying retrieval-augmented generation (RAG) methods. The study reviews existing approaches and technical solutions for database querying, with a focus on their application to such tasks as mapping and analyzing travelogue routes and validating results against cartographic and geoinformation resources. A mechanism for transforming cartographic materials into textual descriptions through standardized templates is introduced, where parameters are automatically filled in from the geometric and attribute characteristics of vector map objects. The approach was validated using the QGIS, FIASS vector database, vectorization tool, and the YandexGPT large language model.

**Keywords:** thematic mapping, language model, travelogues, retrieval-augmented generation, machine learning

### REFERENCES

1. Mai, G., Huang, W., Sun, J., Song, S., Mishra, D., Liu, N., Gao, S., Liu, T., Cong, G., Hu, Y., Cundy, C., Li, Z., Zhu, R., Lao, N. (2024) On the Opportunities and Challenges of Foundation Models for GeoAI (Vision Paper). *ACM Trans. Spatial Algorithms Syst*, 10(2)-11, 46. DOI 10.1145/3653070.
2. Jonathan, R., Luddecke, T., Das, S., Han, K., Albanie, S. (2023) GPT4GEO: How a Language Model Sees the World's Geography *ArXiv abs/2306.00020*. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2306.00020> (date of the application: 05.11.2024).
3. Li, Z., Ning, H. (2023) Autonomous GIS: the next-generation AI-powered GIS. *International Journal of Digital Earth*, 16(2), 4668–4686, DOI 10.1080/17538947.2023.2278895.
4. Ran, T., Xu, J. Mapping with ChatGPT. (2023) *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12, 7, 284, DOI:10.3390/ijgi12070284.
5. Sambandam, P., Yuvaraj, D., Padmakumari, P., Swaminathan, S. (2023) Deep attention based optimized Bi-LSTM for improving geospatial data ontology. *Data & Knowledge Engineering*, 144, 102123, DOI 10.1016/j.datak.2022.102123.
6. Skrynnikova, I. (2024) Interpretation problems of LLM: mysteries of figurative language. *Kognitivnyye issledovaniya yazyka [Cognitive studies of language]*, 2-2(58), 638-642 [in Russian].
7. Lewis, P., Piktus, A., Petroni, F. (2020) Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems* (Virtual, Online, 06–12 december 2020), 34.
8. Naraki, Y., Yamaki, R., Ikeda, Y., Horie, T., Naganuma, H. (2024) Augmenting NER Datasets with LLMs: Towards Automated and Refined Annotation. *ArXiv abs:2404.01334v1 [cs.CL]*. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2404.01334> (date of the application: 05.11.2024).
9. Wang, S., Sun, X., Li, X., Ouyang, R., Wu, F., Zhang, T., Li, J., Wang, G. (2023) GPT-NER: Named Entity Recognition via Large Language Models. *ArXiv abs: 2304.10428*. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2304.10428> (date of the application: 05.11.2024).
10. Zhichao, Z., Zhao, Q., Li, J., Ge, Y., Ding, X., Gu, T., Zou, J., Lv, S., Wang, S., Yang, J. (2024) Comparative Analysis of Large Language Models in Chinese Medical Named Entity Recognition. *Bioengineering*, 11, 10, 982, DOI 10.3390/bioengineering11100982.

11. Ja, P. (2024) Automating Threat Intelligence Analysis with Retrieval Augmented Generation (RAG) for Enhanced Cybersecurity Posture. *International Journal of Science and Research*, 13, 5, 251-255, DOI 10.21275/sr24502103758.
12. Mozharovskii, E. (2024) Evaluating Retrieval-Augmented Generation (RAG) techniques in enhancing LMS for coding tasks. *Universum: tekhnicheskiye nauki [Universum: technical sciences]*, 6-6(123), 22-26 [in Russian].
13. Tomilov, N. A., Turov, V. P., Babayants, A. A., Platonov, A. V. (2024) Method of storing vector representations in compressed form using clustering. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki [Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics]*, 24, 1, 112-117, DOI 10.17586/2226-1494-2024-24-1-112-117 [in Russian].
14. Unlu, O., Shin, Ch. J., Maily, J. (2024) Retrieval-Augmented Generation-Enabled GPT-4 for Clinical Trial Screening. *NEJM AI*, 1, 7, DOI 10.1056/aioa2400181.
15. Martin, A., Witschel, H. F., Mandl, M., Stockhecke, M. (2024) Semantic Verification in Large Language Model-based Retrieval Augmented Generation. *Proceedings of the AAAI Symposium Series*. 3, 1, 188-192, DOI 10.1609/aaais.v3i1.31199.
16. Fedorov V. O., Polyakov R. A. (2023) Large language models with search extended generation: review and prospects. *Original'nyye issledovaniya [Original research]*, 13, 12, 43–47 [in Russian].
17. Kang, S. H., Kim, S. J. (2023) M-RAG: Enhancing Open-domain Question Answering with Metadata Retrieval-Augmented Generation. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 27, 12, 1489-1500, DOI 10.6109/jkiice.2023.27.12.1489.

#### Author details

Alexey A. Kolesnikov – Ph. D., Associate Professor, Researcher.

Sergey S. Zhdanov – D.Sc., Associate Professor, Leading Researcher.

Received 12.11.2024

© A. A. Kolesnikov, S. S. Zhdanov, 2025

УДК 528.9:37

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-41-57

## Об опыте создания сервиса визуализации геоданных без программирования и его использовании в муниципальном образовании

Е. Л. Кухаренко<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: ekukharenko@mail.ru

**Аннотация.** Статья продолжает тематический цикл работ в рамках исследования создания сервиса визуализации геоданных без программирования. Рассматривается опыт применения теоретических подходов автора и его программного обеспечения для создания инфраструктуры публикации пространственных данных с разработкой собственной мультимасштабной картографической основы, созданием адресного плана, разработкой модулей: избирательная инфраструктура, потребительский рынок на территорию муниципального образования (МО) Российской Федерации с полутора миллионным населением без программирования. Предлагается архитектура клиент-серверной информационной системы, позволяющей оперировать пространственными данными для территориального управления МО. Рассматриваются подходы к реализации, предлагаются оптимизационные мероприятия в части картографического и программного обеспечений. Перечисляются перспективные подсистемы и их наполнение решаемыми задачами для реализации также без программирования, но только конфигурирование двух формализмов представления данных на клиентских приложениях и описания метаданных для доступа к данным серверным приложениям. Все авторское программное обеспечение используется непрофессиональными пользователями без обучения применения к геоинформационным системам. Внесение изменений осуществляется только конфигурированием через адаптивные интерфейсы из-за разработанного автором теоретического подхода, выражающегося в особом принципе метаданных; двух формализмов, из него вытекающих; алгоритмом и иными теоретическими положениями авторского решения. В итоге решаются задачи управления МО с защитой данных, доступом к ним с различного оборудования и программного обеспечения, включая веб-сервисы для интеграции с иными системами.

**Ключевые слова:** клиент-серверная архитектура, муниципальное управление, методы визуализации, геоинформационные системы, пространственные данные, без программирования, принцип метаданных

### Для цитирования:

Кухаренко Е. Л. Об опыте создания сервиса визуализации геоданных без программирования и его использовании в муниципальном образовании // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 41–57. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-41-57

### Введение

Задача создания инфраструктуры публикации пространственных данных с разработкой собственной мультимасштабной картографической основы, созданием адресного плана, разработкой модулей, например, таких, как избирательная инфраструктура, по-

требительский рынок, экология и др. на территорию муниципального образования не является новой, уникальной или методологически непроработанной.

Множество авторов раскрывают свой опыт создания таких систем – муниципальных ГИС [1] с описанием разнообразных функций и методик выполнения тех или иных

работ для поддержки функционирования многочисленных подразделений МО [2–10] или их частей [11, 12]. И, например, предлагают концепцию геоинформационного и картографического обеспечений аналитической системы мониторинга развития МО в Российской Федерации, поддержанной актуальным грантом РНФ №23-18-00180 «Поливариантность детерминант и трендов экономической динамики муниципальных образований России: концептуализация, идентификация и типологизация в интересах государственного регулирования пространственного развития», и формулируя, что Федеральная государственная информационная система территориального планирования (ФГИС ТП – URL: [https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe\\_razvitie/fgis\\_tp/](https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/fgis_tp/). – Текст: электронный), Государственная информационная система обеспечения градостроительной деятельности (ГИС ОГД – URL: <https://gisogd.mos.ru/>. – Текст: электронный), подобные им информационные системы и существующие муниципальные ГИС и геопорталы не выполняют задачу типологизации всей совокупности российских муниципальных образований по детерминантам и трендам их экономической динамики для принятия управленческих решений в сфере пространственного развития страны на муниципальном уровне [13], которая апостериори связано с тем, что только 51 % границ муниципальных образований внесены в Единый государственный реестр недвижимости (акт. на 2018 год). Это влечет снижение эффективности управления земельно-имущественным комплексом муниципального образования, невозможность качественной подготовки документов территориального планирования и градостроительного зонирования, а также накопление реестровых ошибок в виде пересечения границ муниципальных образований с границами земельных участков, территориальных зон и пр. [14]. Методические средства решения задач МО могут быть реализованы на основе достижений теории геостатистики, пространственной экономики, традиционной картографии, геоинформатики, пространственного анализа с анализом геовариаций, т. е. анализа качественных и количественных изменений признаков в пространстве,

составляющих геостатическую совокупность административно-территориальных единиц муниципального уровня [15].

Существует предположение, что карта МО давно позиционируется как способ ориентации в основных потоках современного МО. Она представляет МО не как фиксированное изображение физического пространства, а как набор постоянно меняющихся данных о погоде, транспортных сетях, уровне нагрузки на электросеть, состоянии экономических субъектов и пр. Этот набор дополняется изображениями с дорожных камер, открытой уличной картой и сведениями об интригующей категории как *mappiness* – контаминации английских слов *map* (карта) и *happiness* (счастье), – предлагающей количественные показатели настроения населения [16].

Конечно, если ранее активно обсуждались и исследовались методы создания геоинформационных систем (ГИС) для органов государственной власти (ГИС ОГВ) как решение отдельной задачи в рамках МО (органа власти), то сейчас интенсивно создаются государственные информационные системы на особых интеграционных платформах (Единая цифровая платформа ГосТех. – URL: [https://platform.gov.ru/wp-content/uploads/2023/11/mr\\_razrabotka-gis-na-platfome.pdf](https://platform.gov.ru/wp-content/uploads/2023/11/mr_razrabotka-gis-na-platfome.pdf). – Текст: электронный), потому что запросы к ним исчисляются миллиардами в год от многомиллионной аудитории, потребляющей услуги сотен поставщиков. И без интеграции многочисленных источников и реализации доменного подхода (согл. Распоряжению Правительства РФ от 21.10.2022 № 3102-р «Об утверждении Концепции создания и функционирования единой цифровой платформы Российской Федерации "ГосТех" и плана мероприятий ("дорожной карты") по ее созданию», Постановлению Правительства Российской Федерации от 16.12.2022 № 2338 «Об утверждении Положения о единой цифровой платформе Российской Федерации "ГосТех"») к проектированию цифровых сервисов, учитывающего межведомственное взаимодействие, технические возможности для формирования надежных и безопасных клиентоцентричных сервисов, уже не обойтись. Именно появление ГИС-технологий качественно изменило ситу-

ацию в территориальном планировании: кардинально оптимизировался процесс обработки пространственных данных, их обновления в режиме мониторинга [17].

Цифровая трансформация [18] (англ. digital transformation) и ее многочисленные определения [19] в рамках научного подхода, затрагивающая не отдельные процессы, как ранее, а всю организацию (-и) в целом все более активно внедряется с целью создания новейших и модификации текущих продуктов, услуг и операций уже не только как переводов бизнес-процессов в цифровой формат, в том числе в МО. Для этого необходимо задействовать инновации, активнее применять изобретения, улучшать UI/UX, повышать эффективность и культуру всех этапов, выделяя все большие ресурсы, включать и развивать навыки сотрудников, помогать им изучать новые технологии, инструменты, подходы, тактики применения и лучшие практики. Поэтому любое решение, информационный продукт, где клиентская часть имеет элегантный и эффективный внешний вид для неподготовленного пользователя, неспециалиста в ГИС, является все еще жизненно необходимым не только в подразделениях МО.

Множество собственников геопространственных данных и потребителей данных, как и количество их областей знаний и отраслей применения ГИС в МО столь велико, что проще перечислить те области, где они пока не применяются. Но и там они будут необходимы в ближайшем будущем из-за все большего внедрения «интернета всего» (англ. Internet of Everything, IoE) и «интернета вещей» (англ. Internet of Things, IoT) [20]. Все собственники геоданных ставят перед собой задачу представить и (или) использовать их все более простым способом – через сервис визуализации, витрины данных (дашборды) на любой программно-аппаратной платформе, как веб-браузеры в локальных операционных системах стационарных, переносных и мобильных компьютеров, а также отдельными приложениями на смартфонах и в иных операционных системах. Что необходимо таким пользователям, давно известно, и они понимают, но не могут заниматься программированием, связанным с вопросами многочис-

ленного программного обеспечения, и стремятся воспользоваться готовым решением без долгих подготовительных и инсталляционных процедур.

Пользователи формируют все больший спрос [21] на рынке и в индустрии создания сервисов визуализации геопространственных данных, в том числе без программирования, с минимумом подготовительных и инсталляционных процедур какого-либо программного обеспечения как решения их насущной проблемы.

Таким образом, начиная разрешать эту проблемную ситуацию, находим ее сущность, заключающуюся в том, что:

- методологические основы объекта исследования имеют существенные несовершенства в контексте современного состояния геоинформационной науки и геоинформационных технологий;

- отсутствуют научно-методологические подходы к обеспечению максимальной эффективности геоинформационных систем предмета исследования с учетом их жизненного цикла;

- исследования и разработки по организации эффективного применения геоинформационных систем непрофессиональными пользователями имеют частный характер;

- отсутствует методическая платформа организации построения сервисов визуализации без программирования.

Следовательно, научная проблема [22] заключается в том, что имеющиеся сейчас методы и подходы, существующие технические решения в виде геоинформационных систем (проектов) и программных решений на их основе не позволяют отобразить пространственные и иные связанные данные, например, исполнить в том числе протокол SPARQL, где идентификаторы разрешаются стандартной сериализацией семантических моделей данных одномоментно в веб-браузере, на всех мобильных платформах и иных операционных системах на одной и той же однократно созданной и дополняемой конфигурации параметров и данных пользователя без программирования им или по его заказу. Это сдерживает взрывной рост применения геопространственных данных и методов их обра-

ботки для принятия управленческих решений в самых разнообразных отраслях с сокращением технических, политических и организационных барьеров [23].

Пространственные данные сегодня позволяют решать жизненно важные для государства задачи, имеют высокий потенциал для развития экономики и улучшения инвестиционного климата, служат основой цифровой трансформации отраслей [24].

Известные методологические и технические решения содержат очень жесткие ограничения в функциях, методах отображения данных, операциях с данными, принципах функционирования программного обеспечения, не обеспечивают исчерпывающую защиту данных, применяют нелокализованные (нелокализуемые) программные продукты и компоненты, не содержат достаточного и адаптивного простора для пользователя при конфигурировании без программирования и прочие проблемы и ограничения, что в итоге приводит к небольшому подмножеству решаемых задач из его обширного перечня. Часто из-за недостаточной теоретической базы, использования множества компонент, когда их интерфейсы не гармонизированы, часто не локализованы полностью или частично, не адаптированы к географическому рынку, еще больше сужается класс решаемых задач. Но спрос на такие сервисы только растет год от года за последние 60 лет: пользователи находят приемлемое для себя решение, бюджет, снисходительны к затратам времени на изучение, старт и эксплуатацию, к функциональности, защищенности и др. Такие решения появляются в последнее время из-за развития технологической базы, их рынок конкурентен, но часто без внятной теоретической основы, которую автор предлагает в настоящем исследовании как его теоретические результаты.

В рамках реализации Указов Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» сформулирована задача по созданию большого и зна-

чимого сектора экономики, в котором на первое место должно выйти развитие геоинформационных технологий и использование геопространственных данных для устойчивого экономического и социального развития государства [25]. Выделены три основных этапа развития направлений цифровой экономики, по итогам которых предусмотрено достижение целевого состояния по каждому из направлений, в которых упоминаются геопространственные данные и их использование. Задача 4.14 программы «Цифровая экономика Российской Федерации» предусматривает создание отечественной цифровой платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных для нужд картографии и геодезии, обеспечивающей потребности граждан, бизнеса и власти.

Опыт зарубежных стран показывает, что внедрение геопространственных технологий возможно только через организационную форму как государственно-частное партнерство, а применение новых геопространственных технологий дает возможность решить более амбициозную задачу – «от умного города к умной нации» [26].

Также встречается подход создания атласной информационной системы [27], способной систематизировать актуальные знания о современных демографических, миграционных и других социально-экономических процессах, протекающих в сети больших городов страны, как эффективного инструмента пространственного мониторинга различных процессов и явлений [28].

Также ряд регионов стремятся к продолжению создания региональных ГИС [29], геопорталов [30], решения отдельных задач, например, о полигонах ТБО [31] вне рамок интеграционных платформ. Иные исследователи говорят о необходимости создания умных городов (англ. smart cities) [32], но с гораздо большими возможностями для жителей [33] и созданием городской операционной системы (англ. City Operating Systems), например, с применением Microsoft CityNext, IBM Smarter Cities, Urbiotica City Operating System, PlanIT Urban Operating System и др., где не только интеллектуальная транспортная система самостоятельно регулирует трафик пе-

реключением светофоров, чего не наблюдается даже в таком мегаполисе, как Москва, что создает непреодолимые пробки там, где их быть не должно.

В связи с тем, что научная и техническая проблема существует, доказана и обоснована многими исследователями, имеется запрос потребителей из разных стран мира, в том числе России, на ее решение. Многими учеными в мире разработана теория, которая множество раз технически реализована, но до сих пор потребителями ищется решение, позволяющее быть бесконечно расширяемым, практически реализуемым, эффективным, адаптивным, что и предлагает автор настоящей статьи.

Таким образом, важной народно-хозяйственной задачей является поиск нового подхода к реализации сервисов визуализации геоданных для еще более широкого применения геоинформационных систем (проектов), основанного на новых методологических и затем технических решениях. Их апробация обеспечит значительное повышение эффективности процессов запуска с нуля создаваемых информационных систем с кратным уменьшением затрат на их создание и эксплуатацию, заполнит отсутствие теоретической базы и гарантирует значительную продолжительность жизненного цикла и развития [34] геоинформационных систем (проектов) хотя бы в части визуализации данных без программирования. Для ее решения необходима разработка методологии как теоретической основы и программного и других обеспечений как ее практическая реализация, что было выполнено автором. Результаты для выбранного МО без намеренного указания его наименования предлагается рассмотреть ниже.

### Методы и материалы

Минимальным, но достаточным стартовым набором для любой информационной системы поддержки принятия решений в МО является актуальный адресный план с подсистемами: избирательная инфраструктура, потребительский рынок. Рассмотрим их наполнение детально, насколько это возможно.

**Адресный план.** Как правило, это слой зданий и сооружений из комитета по архитектуре и градостроительству.

Для его создания выполняются работы:

- генерализация данных – объединение объектов с одним адресом, исправление геометрии;
- создание адресной базы данных МО;
- актуализация адресной базы данных по данным Федеральной адресной системы («Классификатора адресов России») (ФИАС (КЛАДР));
- привязка адресов к избирательным участкам и административно-территориальному делению (районам).

Для рассматриваемого МО автором было создано и актуализировано 31 329 уникальных адресных объектов, включая садовые участки, становящиеся все более популярными для выбора местожительства.

**Избирательная инфраструктура.** Для формирования избирательной инфраструктуры МО были обработаны перечни избирательных участков, участков референдума на территории МО (рис. 1). Здесь и далее все визуальные элементы были созданы автоматически без программирования после заполнения авторских формализмов, содержащих описание предметной области из бесконечно расширяемого словаря.

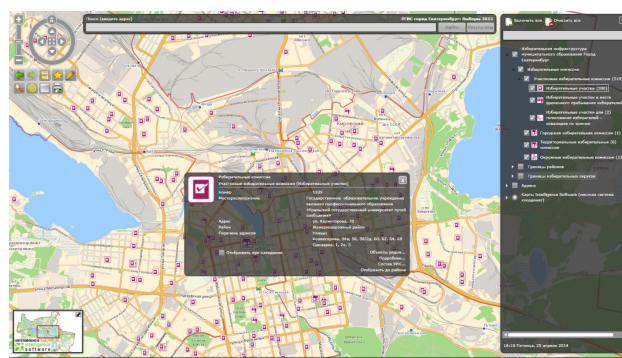


Рис. 1. Избирательная инфраструктура с окном краткой информации об избирательном участке

**Потребительский рынок.** Важным мероприятием учета и контроля является определение границ прилегающих территорий объектов, на которых не допускается розничная продажа алкогольной и иной подакцизной продукции (рис. 2, 3).

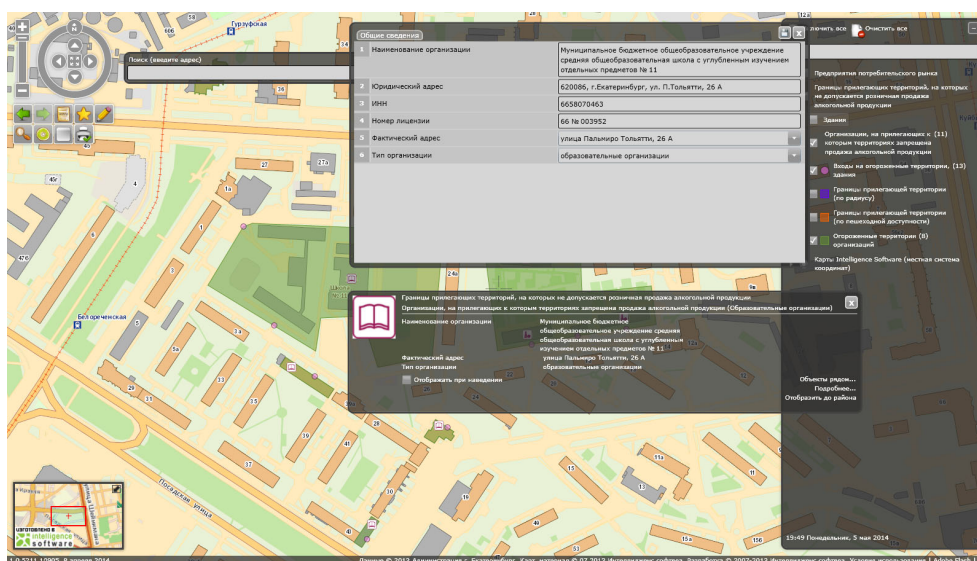


Рис. 2. Окна краткой и подробной информации об организации, для которой установлено ограничение

Рассмотрим результаты применения предлагаемых авторских теоретических и практических подходов, позволяющих без программирования реализовать решение актуальных задач МО в кратчайшие сроки силами неподготовленных ГИС-специалистов.

Кроме применения сразу после получения доступа к показанным ранее данным была предложена новая архитектура инфраструктуры публикации пространственных данных

МО, представлена перспективная структура обмена данными между подразделениями для их оперативного ведения и перечень перспективных подсистем для многочисленных подразделений в администрации МО, муниципальных предприятиях и учреждениях, реализация функционирования которых также возможна без программирования из-за применения авторского теоретического решения, представленного в [35–37].

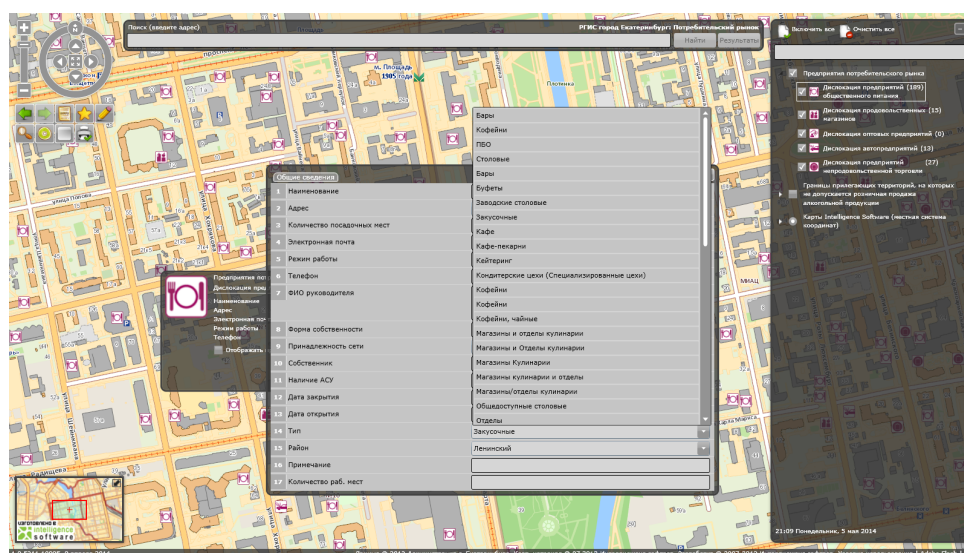


Рис. 3. Классификация объектов потребительского рынка по типу и специализации

**Инфраструктура публикации пространственных данных.** Публикация пространственных данных, равно как и применение функций разработанных модулей (подси-

стем), таких как избирательная инфраструктура, потребительский рынок, экология, на едином адресном плане в рамках программно-аппаратного комплекса (ПАК) МО осуществляется при помощи разработанного автором программного обеспечения (ПО), обеспечивающего для МО:

- сбор, хранение, обработку, преобразование, защищенный доступ, отображение, редактирование и распространение пространственных данных, в том числе из многих источников в многопользовательском режиме, а также при персональном применении в локальной версии (экземпляре) системы визуализации – работу с носителем, копирование данных с которого максимально затруднено;

- выполнение различных измерений и расчетов, оверлейных операций, обработку растровых данных;

- средства тематического картографирования, работы с GPS-приемниками, а также инструментальные средства для работы с базами данных (конструкторы форм, запросов, отчетов) для инвентаризации, кадастровой оценки, прогнозирования, оптимизации, мониторинга, пространственного анализа.

И позволяющего только однократным конфигурированием авторских формализмов без программирования:

- отобразить и манипулировать растровой картой, аэрофото- и космоснимками и лю-

быми объектами на них из множества настраиваемых пользователем источников в едином интерфейсе;

- нанести точечные, линейные и площадные объекты на карту и отредактировать их;

- прикрепить к ним разнообразные файлы любого формата через эффективные интерфейсы;

- управлять отображением слоев, значений из баз данных;

- редактировать как геометрию объектов, так и значения их многочисленных атрибутов, получаемых из разных баз данных;

- проводить поиск объектов;

- выводить на печать фрагменты территорий;

- формировать отчеты, определяемые пользователем в PDF, DOC, PNG;

- отображать всплывающие подсказки для объектов и другие многочисленные возможности.

Клиентская часть – программа для всех веб-браузеров (рис. 4), позволяющая взаимодействовать с некоторой поверхностью из карт, космических снимков, объектов пользователя с различным мультимедийным содержанием на основе запросов к серверной части.

Серверная часть применяется для получения значений из баз данных и формирования результата, отображаемого пользователю через клиентские части, функционирующие одинаково в веб-браузерах, смартфонах и как локальные приложения.

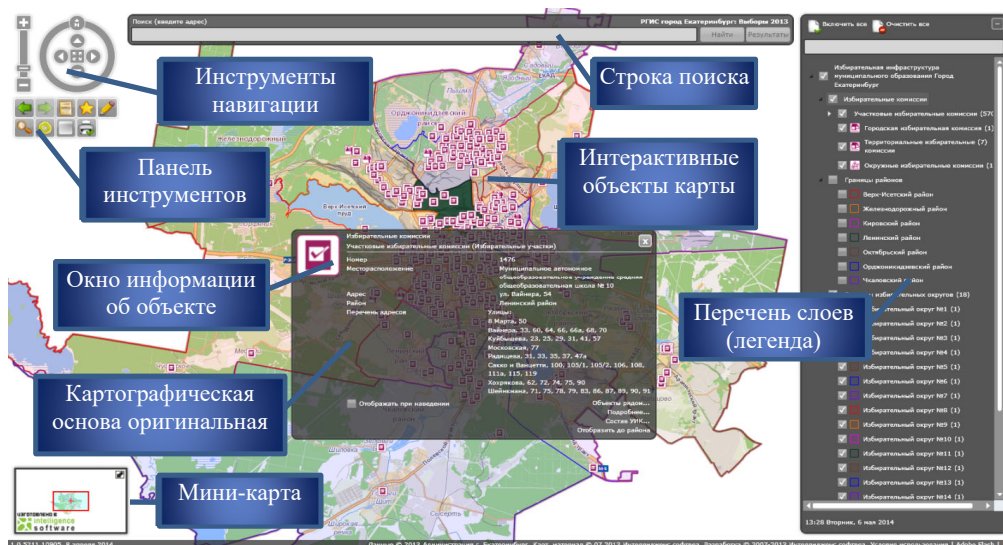


Рис. 4. Клиентская часть оригинального программного обеспечения

**Перспективная структура.** К сожалению, существующая система обмена данными, имевшаяся в МО, потребовала множественных изменений из-за ошибок в проектировании, допущенных при ее создании из-за конъюнктурного применения известной ГИС:

– асинхронная репликация – неконтролируемое копирование содержимого баз данных во многие источники из одного источника.

Обновление одной реплики распространяется на другие спустя некоторое время, а не в той же транзакции. Таким образом, при асинхронной репликации вводится задержка или время ожидания, в течение которого отдельные реплики могут быть фактически неидентичными. Из-за этого реплики при обратном сборе данных могут становиться несовместимыми в результате ситуаций, которые трудно или даже невозможно избежать и последствия которых трудно исправить. В частности, конфликты могут возникать из-за того, в каком порядке должны применяться обновления данных в центральном хранилище;

– избыточность доступа к объему данных.

Осуществляется неконтролируемый доступ к данным, у которых нет необходимости в таком объеме атрибутивного состава данных и (или) количестве записей баз данных. При сборе данных часто встречаются ситуации, когда определенные данные повторяются в базе. Они будут расходовать больше памяти, чем необходимо, и, следовательно, как замедлять работу системы управления базами данных (СУБД), так и влиять на метрики и как результат – на управленческие решения в негативную сторону;

– наличие несогласованных копий данных при применении любого метода резервного копирования.

При аварии это приведет к потере данных и, как правило, логическому коллапсу базы данных и затем к остановке процесса применения данных. Также это вне правил информационной безопасности, когда каждая копия должна быть контролируемой.

Предложенная архитектура системы обмена данными включает:

1) кластеризованный сервер СУБД с различными экземплярами баз данных, помеченные как «только для чтения» и «для записи

потребителем X», где X – наименование профильного потребителя (комитета, департамента). Базы данных «для чтения» являются общими для всех потребителей, базы данных «для записи» доступны для записи только профильным пользователям и, если это необходимо, доступны другим пользователям в режиме «для чтения»;

2) выделенную локальную сеть кластера, содержащую минимум две единицы серверов, одну систему хранения данных, реализованную в виде отдельного элемента или в рамках отказоустойчивого массива жестких дисков серверов СУБД, коммутатор локальной сети;

3) программное обеспечение в виде клиентской (тонкие клиенты) и серверной частей системы.

Преимущества предлагаемой перспективной схемы обмена данными:

1) низкие аппаратные требования для клиентского рабочего места, что позволяет снизить стоимость системы и обеспечить дополнительные возможности для масштабирования;

2) не выдвигаются требования к операционным системам клиентских рабочих мест, поскольку в качестве клиентского ПО используются веб-браузеры, одинаково задействующие клиентскую часть системы;

3) в качестве технических средств клиентской части могут использоваться устройства, имеющие выход в интернет: персональный компьютер; переносной компьютер (ноутбук); коммуникатор, смартфон; планшет, карманный ПК;

4) кардинально возрастает безопасность системы, поскольку к данным системы и СУБД обращается только сервер приложений, что исключает проведение внешних атак на компоненты системы;

5) доступ к системе одинаково функционален при применении как в рамках локальной сети, так и через средства удаленного доступа к ней на основе применения интернет-протоколов, защита которых может быть обеспечена на требуемом уровне защищенности;

6) при наличии сервера приложений трафик между серверной и клиентской частями

системы минимизирован, но позволяет реализовывать весь комплекс функций (задач) системы, когда аналогичный показатель для «толстого» клиента – в разы выше.

**Перспективные подсистемы.** Предполагается (в том числе после опытной эксплуатации ряда подсистем вышеуказанного адресного плана МО с модулями: избирательная инфраструктура, потребительский рынок, экология), что будут реализованы также без программирования иные автоматизированные информационные подсистемы в администрации МО, муниципальных предприятиях и учреждениях МО.

1. Автоматизированная учетная система муниципальной собственности с реестром объектов, формирование отчетных документов по объектам муниципальной собственности.

2. Автоматизированная учетная система земельных участков.

3. Подсистема «Организация дорожного движения».

4. Подсистема «Жилищно-коммунальное хозяйство».

5. Подсистема «Здравоохранение».

6. Подсистема «Культура» с реестрами муниципальных учреждений культуры, объектов культурного наследия.

7. Подсистема «Физическая культура и спорт» с реестром объектов спортивной инфраструктуры МО для учета материально-технического обеспечения.

8. Автоматизированная учетная система субъектов малого и среднего предпринимательства с их реестром.

9. Подсистема «Бытовое обслуживание» и др.

Без единой методологии описания существенных свойств создаваемых автоматически приложений и методов представления, обработки данных в них в виде предлагаемых автором формализмов согласно принципу метаданных создание вышеперечисленных подсистем является трудноразрешимой задачей с огромными затратами всех видов ресурсов. С ней создание многочисленных подсистем в МО становится рутинной производственной задачей комитета информационных технологий МО, выполняющего поэтапное конфигу-

рирование через заполнение формализмов, описывающих применяемые в том или ином подразделении МО геоданные, что имеет доказанную актуальность и научную новизну.

Известно, что ранее многие МО создавали подсистемы и их компоненты, вводили их в эксплуатацию до завершения разработки уникального программного обеспечения, что в итоге приводило к замедлению автоматизации процессов, отсутствию ряда и дублированию функций, слабой надежности и бесконечным доработкам программного обеспечения с не всегда достижимым результатом, от которого в итоге приходилось отказываться после оптимизаций вследствие постоянной автоматизации и цифровой трансформации.

Предлагаемый принцип метаданных, формализмы в [35, 36] исходят из этого опыта и улучшают его, делая применение геоданных массовым. Представляемый опыт применения подходов автора в МО доказывает, что предлагаемая теоретическая методология улучшает множество процессов в МО, делая их автоматизацию массовой, эффективной и стандартизуемой.

### Выводы

Известно, что в любом МО эксплуатируется множество профильных подсистем, решающих задачи подразделений на общей картографической основе и использующих общие данные о территории, субъектах на ней. Только в Российской Федерации на 1 января 2024 г. расположено 17 747 МО с некоторым ростом год от года, решающих представленные выше задачи профильными подразделениями схожим образом.

Обработка профильными подразделениями предлагаемыми методами данных о территории, субъектах на ней является обоснованным не только из-за унификации методов работы с материалами подразделений МО, предлагаемых в связи с использованием формализмов автора и через информационный продукт, где клиентская часть имеет функциональный и эффективный внешний вид для неподготовленного пользователя, но также как следствие массовости, аналогичности и практической идентичности решаемых задач

в различных МО. Это открывает широкие возможности шаблонизации информационных систем в рамках части МО, субъекта (-ов) федерации и (или) федерального округа (-ов). Например, решенные выше задачи в одном МО могут и должны стать шаблонами в другом и наоборот, что позволит не только унифицировать решаемые задачи, уменьшить операционные затраты МО, но и улучшить качество их решения в рамках иных МО, а также субъектов Российской Федерации простым копированием шаблонов и, как следствие, увеличить эффективность, согласованность и качество государственных услуг гражданам, организациям, органам власти и управления. Как результат предлагаемым подходом автора решается проблема, имеющая важное хозяйственное, социально-культурное, экономическое значение через новые научно обоснованные технологические решения, внедрение которых внесет значительный вклад в развитие страны при их широком применении. В вышеописываемом МО (как апробационном примере подходов автора) одновременно в веб-браузере, на всех мобильных платформах и иных операционных системах на одной и той же однократно созданной и дополняемой конфигурации параметров и данных пользователя решаются задачи МО без программирования.

### **Заключение**

Все представленное в статье было создано только заполнением предложенных к интерактивному заполнению авторских формализ-

мов [37], описывающих применение геоданных в МО, предметную область МО в виде доступов к данным в базе (-ах) данных, функций обработки и внешнего вида приложения пользователя (-ей), функционирующих на всех программно-аппаратных платформах, что является конфигурированием авторского программного обеспечения без применения какого-либо программирования, в отличие от иных многочисленных вариаций [38–41].

Представленное авторское теоретическое решение, реализованное в программном обеспечении для демонстрации его реализуемости, позволяет полностью отказаться от программирования для получения аналогичных результатов в любом МО или иной организации любой формы собственности, оперирующей пространственными данными, тем самым эффективнее обеспечивая общую дисциплину, внедрение общих практик и тактик применения, массовизацию решения задач с низким порогом входа, что не может не сказываться положительно на всех экономических процессах для всех уровней бюджетов и граждан.

Открытая структура формализмов позволяет разрабатывать многочисленные интегрированные интерактивные приложения для решения разнообразных задач. Область потенциальных приложений предлагаемой автором методологии чрезвычайно широка и может охватывать геоинформационное моделирование, интегрированные системы и системы реального времени, моделирование виртуальной реальности, анимационные системы.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Грибкова И. С., Попова О. С. Муниципальные геоинформационные системы: проблемы и пути решения // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КУБГТУ». – 2016. – № 11. – С. 143–154.
2. Гаченко А. С., Ружников Г. М., Хмельнов А. Е., Новицкий Ю. А., Фереферов Е. С. Технология создания и ведения муниципальной геоинформационной системы // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. – 2016. – № 2. – С. 32–45. – DOI 10.18101/2304-5728-2016-2-32-45.
3. Поносов А. Н., Жернакова Н. Н., Драшкович Б. Применение геоинформационных систем при управлении муниципальной недвижимостью // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 12-3 (66). – С. 50–54. – DOI 10.23670/IRJ.2017.66.194.
4. Карманов А. Г., Кнышев А. И., Елисеева В. В. Геоинформационные системы территориального управления : учебное пособие. – СПб. : Университет ИТМО, 2015. – 121 с.

5. Немтинов В. А., Пахомов, П. И., Немтинов К. В. Трехмерная визуализация территории муниципального образования для управления коммунальными системами // Прикладная информатика. – 2009. – № 2. – С. 55–62.
6. Яроцкая Е. В., Патов А. М. Проблемы применения ГИС в управлении земельными ресурсами на муниципальном уровне // Информационные технологии в экономике, бизнесе и управлении: материалы III Международной научно-практической конференции, Тамбов, 20 мая 2016 г. – Тамбов : Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина, 2016. – С. 255–261.
7. Широков А. Н., Юркова С. Н. Муниципальное управление. – М. : КНОРУС, 2017. – 224 с.
8. Кудинова А. В., Андреева А. Ю. Использование отраслевой муниципальной ГИС для решения пространственно-аналитических задач территориального управления // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 6. – С. 97–99.
9. Калюжин В. А., Одинцова Н. В., Бессильных А. Р., Альвинский Ю. В. Об опыте внесения в государственный кадастр недвижимости территорий зон охраны объектов культурного наследия, расположенных на территории города Новосибирска // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 10–12 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. – Т. 4. – С. 168–173.
10. Бахарева Н. А. Геоданные в земельном кадастре // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 3 (15). – С. 69–79. – DOI 10.21777/2312-5500-2016-3-69-79.
11. Дубровский А. В., Никитин В. Н., Ершов А. В. Разработка картографического контента геопортала с использованием программного обеспечения Спектрум // Геоинформационные технологии в решении задач рационального природопользования : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции / АУ «Югорский НИИ информационных технологий». – Ханты-Мансийск : Югорский формат. – 2015. – С. 15–17.
12. Милихин М. М., Рычагов М. М. Веб-ГИС как Интернет-сервис // Геоинформационные технологии в решении задач рационального природопользования : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции / АУ «Югорский НИИ информационных технологий». – Ханты-Мансийск : Югорский формат. – 2015. – С. 18–20.
13. Вольхин Д. А. Геоинформационное обеспечение мониторинговой системы поддержки принятия решений в области социально-экономического развития муниципальных образований России // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2023. – Т. 9 (19). – Вып. 4. – С. 73–82.
14. Каравайцев Ф. В. Способ проектирования границ муниципальных образований в неоднородном геопространстве // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 178–191.
15. Орехова Е. А., Плякин А. В. Геостатистический анализ для оценки социально-экономического состояния муниципальных образований региона: проблемы и средства реализации // Основы экономики, управления и права. – 2013. – № 6 (12). – С. 33–37.
16. Kitchin R. The real-time city? Big data and smart urbanism // GeoJournal. – 2014. – 79 (1). – P. 1–14. – DOI 10.1007/s10708-013-9516-8.
17. Морозова Я. С., Максимов Н. Э. Применение геоинформационных систем при разработке стратегии развития территории // Актуальные вопросы технических наук : материалы III Междунар. науч. конф. (г. Пермь, апрель 2015 г.). – Пермь : Зебра, 2015. – С. 147–150.
18. Темников А. О. Современные подходы к определению термина «цифровая трансформация» // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2023. – № 3. – С. 222–229. – DOI 10.23672/SAE.2023.22.28.001.
19. Schallmo D., Williams Ch. A. Digital Transformation of business models – best practice, enablers and roadmap // International Journal of Innovation Management. – 2017. – 21(1):1740014. – Pp. 1–17. – DOI 10.1142/S136391961740014X.

20. Жебровский С. И., Кузин Д. А., Стрельцова М. М. Обзор проблем и перспектив развития геоинформационных систем в эпоху всеобъемлющего интернета // *Современные наукоемкие технологии*. – 2018. – № 12-1. – С. 237–241.
21. Будикин А. Е., Андреев Д. В. Современные тенденции, проблемы и перспективы развития географических информационных систем в России // *Московский экономический журнал*. – 2018. – № 5 (3). – С. 44–48. – DOI 10.24411/2413-046X-2018-15105.
22. Нуриев Т. Р., Беленкова О. А. Сущность научной проблемы и методологическое обоснование ее постановки // *МНИЖ*. – 2015. – № 3-2 (34). – С. 53–54.
23. Кузнецов С. М., Малыгина О. И. Проблемы и перспективы геопространственных данных при внедрении в цифровую экономику для управления территориями // *Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения* : сб. материалов IV Национальной научно-практической конференции, 17–19 ноября 2020 г., Новосибирск. В 3 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – Ч. 2. – С. 186–190. – DOI 10.33764/2687-041X-2021-2-186-190.
24. Белогунова Е. Б., Воробьев В. Е., Гвоздев О. Г. Пространственные данные: потребности экономики в условиях цифровизации // *Фед. служба гос. регистрации, кадастра и картографии; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики»; НИИ «АЭРОКОСМОС»*. – М. : НИУ ВШЭ, 2020. – 128 с.
25. Антонов Е. С., Дубровский А. В., Подорожная А. А. Обзор характеристик спутниковых систем дистанционного зондирования, применяемых в кадастре, землеустройстве и мониторинге земель. – *Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения* : сб. материалов III Национальной научно-практической конференции, 27–29 ноября 2019 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – С. 120–125.
26. Зобова Л. Л. Проблема описания геопространств: современные технологии // *Вестник Кемеровского государственного университета*. Сер. Политические, социологические и экономические науки. – 2016. – № 1 (1). – С. 51–55.
27. Батуев А. Р., Батуев Д. А., Бешенцев А. Н., Богданов В. Н., Дашпилов Ц. Б., Корытный Л. М., Тикуннов В. С., Фёдоров Р. К. Атласная информационная система для обеспечения социально-экономического развития Байкальского региона // *ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий* : материалы Междунар. конф. – 2019. – Т. 25. – Ч. 1. – С. 66–80. – DOI 10.35595/2414-9179-2019-1-25-66-80.
28. Черкасов А. А. Атласная информационная система «Большие города России»: особенности разработки и возможности применения // *ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий* : материалы Междунар. конф. – М. : Географический факультет МГУ. – 2021. – Т. 27. – Ч. 2. – С. 5–16. – DOI 10.35595/2414-9179-2021-2-27-5-16.
29. Ротанова И. Н., Юнаков В. С. Подходы к созданию Региональной ГИС Алтайского края // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. – 2022. – № 4 (28). – С. 156–169. – DOI 10.38028/ESI.2022.28.4.012.
30. Соловьева Е. Д., Митрофанова Н. О. Роль геопорталов в управлении земельно-имущественным фондом муниципальных образований // *Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения* : сб. материалов IV Национальной научно-практической конференции, 17–19 ноября 2020 г., Новосибирск. В 3 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – Ч. 3. – С. 122–131. DOI 10.33764/2687-041X-2021-3-122-131.
31. Худойбердиев Ф. Ш., Назаров И., Мирзамуротов М. Формирование и геовизуализация геопространственной базы расположения полигонов ТБО на основе геоинженерных технологий // *Международный научный журнал «Научный Фокус»*. – 2022. – № 6 (100). – С. 408–413.
32. Al Nuaimi E., Al Neyadi H., Mohamed N., Al-Jaroodi J. Applications of big data to smart cities. *J Internet Serv Appl* 6, 25 (2015). DOI 10.1186/s13174-015-0041-5.

33. Kitchin R. Data-driven, networked urbanism // The Programmable City Working Paper 14. 2015. – P. 1–18. – DOI 10.2139/ssrn.2641802.
34. Карпик А. П. Современное состояние и проблемы геоинформационного обеспечения территорий // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 3–8.
35. Кухаренко Е. Л. Инструмент визуальной аналитики в рамках концепции No-Code и Low-Code // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 6. – С. 83–97. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-83-97.
36. Кухаренко Е. Л. Теоретико-методологические основы визуализации пространственных данных, связанных данных и мультимедиа-данных без программирования // Геоинформатика. – 2024. – № 3. – С. 4–11. – DOI 10.47148/1609-364X-2024-3-4-11.
37. Кухаренко Е. Л. Визуализация геопространственных данных без программирования: теоретические подходы и реализация // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2024. – Т. 68. – № 5. – С. 58–76. – DOI 10.30533/GiA-2024-029.
38. Zavala-Romero O., Chassignet E. P., Zavala-Hidalgo J., Velissariou P., Pandav H., Meyer-Baese A. OWGIS 2.0: Open source Java application that builds web GIS interfaces for desktop and mobile devices. SIGSPATIAL '14 // Proceedings of the 22nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems. – 2014. – Pp. 311–320. – DOI 10.1145/2666310.266638.
39. Донцов А. А., Суторихин И. А. Специализированная геоинформационная система автоматизированного мониторинга рек и водоемов // Вычислительные технологии. – 2017. – Т. 22. – № 5. – С. 39–46.
40. Артамонов Ю. С., Востокин С. В. Разработка распределенных приложений сбора и анализа данных на базе микросервисной архитектуры // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. – № 4-4. – С. 688–693.
41. Донцов А. А., Суторихин И. А. Разработка геоинформационной системы на базе микросервисной архитектуры // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 4 : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. № 1. – С. 41–44. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-4-1-41-44.

### Об авторах

*Кухаренко Евгений Леонидович* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Получено 26.12.2025

© *Е. Л. Кухаренко*, 2025

### Development and use of a no-code geospatial data visualization service for municipal administration

*E. L. Kukharenko*<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: ekukharenko@mail.ru

**Abstract.** With this article the author continues a thematic series focused on the development of a no-code geospatial data visualization service. It presents the author's theoretical approaches and proprietary software for creating a spatial data publication infrastructure tailored for a Russian municipal entity of 1.5 million residents. Key components include a multiscale cartographic base, addressing system, and modules for selective infrastructure and consumer market analysis, all imple-

mented without programming. The proposed client-server architecture facilitates spatial data management for municipal governance. The paper discusses implementation strategies, optimization of cartographic and software components, and outlines promising subsystems configured via two data representation formalisms and metadata descriptions for server-client interactions. The software enables non-professional users to make modifications through adaptive interfaces grounded in a novel theoretical framework involving unique metadata principles and algorithms. The solution supports municipal management tasks with data security and versatile access including web services for system integration demonstrating both practical application and theoretical innovation.

**Keywords:** client-server architecture, municipal management, visualization methods, geographic information systems, spatial data, no-code programming, metadata principle

## REFERENCES

1. Gribkova, I. S., Popova, O. S. (2016) Municipal geographical information systems: problems and solutions. *Jelektronnyj setevoj politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KUBGTU" [Electronic network polythematic journal "Scientific works of KUBSTU]*, 11, 143–154 [in Russian].
2. Gachenko, A. S., Ruzhnikov, G. M., Hmelnov, A. E., Novitsky, U. A., Fereferov, E. S. (2016) Technology of municipal geographic information system creation and maintenance. *Vestnik Bur'yatskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika, informatika. [BSU Bulletin. Mathematics, Informatics]* 2, 32-45. DOI: 10.18101/2304-5728-2016-2-32-45 [in Russian].
3. Ponosov, A. N., Zhernakova, N. N., Drashkovich, B. (2017) Application of geo-information system when managing municipal real estate. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. [International Research Journal]*, 12(66), 50–54. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.194 [in Russian].
4. Karmanov, A. G., Knyshev, A. I., Eliseeva, V. V. (2015) Geoinformation systems of territorial management: Uchebnoe posobie – *SPb: Universitet ITMO*, 121 p. [in Russian].
5. Nemtinov V. A., Pahomov, P. I., Nemtinov K. V. (2009) 3D visualization of the territory of a municipality for the management of utility systems. *Prikladnaja informatika [Applied computer science]*, 2, 55–62 [in Russian].
6. Jarockaja, E. V., Patov, A. M. (2016) Problems of GIS application in land management at the municipal level. *Informacionnye tehnologii v jekonomike, biznese i upravlenii: materialy III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Tambov, 20 maja 2016 goda [Information technologies in economics, business and management: materials of the III international scientific and practical conference, Tambov, May 20, 2016]*. – Tambov: Tambovskij gosudarstvennyj universitet im. G.R. Derzhavina, 255–261 [in Russian].
7. Shirokov, A. N., Jurkova, S. N. (2017) Municipal government. *M.: KNORUS*, 224 p. [in Russian].
8. Kudinova, A. V., Andreeva, A. Ju. (2012) Using sectoral municipal GIS to solve spatial-analytical problems of territorial management. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geodezija i ajerofotos#emka [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]*, 6, 97–99 [in Russian].
9. Kalyuzhin, V. A., Odintsova, N. V., Bessil'nykh, A. R., Al'vinskiy, Yu. V. (2012). Experience of entering protected cultural heritage units of Novosibirsk in the state property cadastre. In *Sbornik materialov Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* (pp. 168–173). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
10. Bahareva, N. A. (2016) Geodata in the land registry. *Obrazovatel'nye resursy i tehnologii, [Educational Resources and Technologies]* 3(15), 69–79. DOI 10.21777/2312-5500-2016-3-69-79 [in Russian].
11. Dubrovskij, A. V., Nikitin, V. N., Ershov, A. V. (2015) Development of cartographic content for a geoportal using Spectrum software. *Geoinformacionnye tehnologii v reshenii zadach racional'nogo prirodopol'zovanija: Materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii / AU «Jugorskij NII informacionnyh tehnologij [Geoinformation technologies in solving problems of rational*

*environmental management: Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference*] 15–17. ISBN 978-5-9907303-0-4 [in Russian].

12. Milihin, M. M., Rychagov, M. M. (2015) Web GIS as an Internet service. *Geoinformacionnye tehnologii v reshenii zadach racional'nogo prirodopol'zovanija: Materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii / AU «Jugorskij NII informacionnyh tehnologij [Geoinformation technologies in solving problems of rational environmental management: Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference]* 18–20. ISBN 978-5-9907303-0-4 [in Russian].

13. Volkhin, D. A. (2023) Geoinformation support of the monitoring system for decision-making assistance in the field of socio-economic development of Russian municipalities. *Geopolitika i jekogeodinamika regionov [Geopolitics and ecogeodynamics of regions]*, 9(19), n. 4, 73–82 [in Russian].

14. Karavaitsev, F. V. (2018) Method for designing borders of municipalities In inhomogeneous geospace. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3, 178–191 [in Russian].

15. Orekhova, E. A., Plyakin, A. V. (2013) Geostatistical analysis for the assessment of social And economic status of municipal formations of the region: Problems and means of implementation. *Osnovy jekonomiki, upravlenija i prava [Fundamentals of economics, management and law]*, 6 (12), 33–37 [in Russian].

16. Kitchin R. The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*. 2014;79(1):1–14. DOI 10.1007/s10708-013-9516-8.

17. Morozova, Ja. S., Maksimov, N. Je. (2015) Application of geographic information systems in developing a territorial development strategy. *Aktual'nye voprosy tehniceskikh nauk : materialy III Mezhdunar. nauch. konf. (g. Perm', aprel' 2015 g.). [Current issues in technical sciences: materials of the III International. scientific conf.] Perm' : Zebra*, 147–150 [in Russian].

18. Temnikov, A. O. (2023) Modern approaches to defining the «digital transformation» term. *Gumanitarnye, social'no-jekonomicheskie i obshhestvennye nauki [Humanities, socio-economic and social sciences]*, 3, 222–229. DOI: 10.23672/SAE.2023.22.28.001 [in Russian].

19. Schallmo D., Williams Ch. A. (2017) Digital Transformation of business models – best practice, enablers and roadmap *International Journal of Innovation Management*, 21(1):1740014, 1–17. DOI 10.1142/S136391961740014X.

20. Zhebrovskiy, S. I., Kuzin, D. A., Streltsova, M. M. (2018) Geoinformation systems development in the internet of things era. *Sovremennye naukoemkie tehnologii [Modern high technology]*, 12-1, 237–241. EDN: YULBXV [in Russian].

21. Budikin, A. E., Andreev, D. V. (2018) Modern tendencies, problems and development prospects of geographic information systems in Russia. *Moskovskij jekonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal]*, 5 (3), 44–48. DOI 10.24411/2413-046X-2018-15105 [in Russian].

22. Nuriev, T. R., Belenkova, O. A. (2015) Summary of scientific issues and methodological soundness the statement. *MNIZh [MNIZh]*, 3-2 (34), 53–54 [in Russian].

23. Kuznecov, S. M., Malygina, O. I. (2021) Problems and prospects of geospatial data in the implementation of the digital economy for territory management. *Regulirovanie zemel'no-imushhestvennyh otnoshenij v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, ocenka nedvizhimosti, jekologija, tehnologicheskie reshenija, [Regulation of land and property relations in Russia: legal and geospatial support, real estate valuation, ecology, technological solutions]*. 2. 186–190. DOI 10.33764/2687-041X-2021-2-186-190 [in Russian].

24. Belogurova, E. B., Vorob'ev, V. E., Gvozdev, O. G. Prostranstvennye dannye: potrebnosti jekonomiki v uslovijah cifrovizacii *Fed. sluzhba gos. registracii, kadastra i kartografii; Nac. issled. un-t «Vysshaja shkola jekonomiki»; NII «AJeROKOSMOS». [Fed. government service registration, cadastre and cartography; National research University "Higher School of Economics"; Research Institute "Aerospace"]* 128 p. [in Russian].

25. Antonov, E. S., Dubrovskij, A. V., Podorozhnaja, A. A. Obzor harakteristik sputnikovyh sistem distancionnogo zondirovanija, primenjaemyh v kadastrе, zemleustrojstve i monitoringе zemel'

*Regulirovanie zemel'no-imushhestvennyh otnoshenij v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, ocenka nedvizhimosti, jekologija, tehnologicheskie re-shenija: sb. materialov tret'ej nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii, [Regulation of land and property relations in Russia: legal and geospatial support, real estate valuation, ecology, technological solutions: collection of articles. materials of the third national scientific and practical conference], 120–125 [in Russian].*

26. Zobova, L. L. (2016) The problem of geospatial description: modern technology. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskiye, sotsiologicheskiye i ekonomicheskiye nauki [Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic sciences]*, 1, 51–55 [in Russian].

27. Batuev, A. R., Batuev D. A., Beshentsev, A. N., Bogdanov, V. N., Dashpilov, Ts. B., Korytniy, L. M., Tikunov, V. S., Fedorov, R. K. Atlas information system for providing socio-economic development of the Baikal region. *InterKarto. InterGIS. Geoinformatsionnoye obespecheniye ustoychivogo razvitiya territoriy: Materialy Mezhdunar. konf. [InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference]*. V. 25. Part 1. P. 66–80. DOI 10.35595/2414-9179-2019-1-25-66-80 [in Russian].

28. Cherkasov, A. A. Atlas information system “Big cities of Russia”: features of development and possibilities of application. *InterKarto. InterGIS. Geoinformatsionnoye obespecheniye ustoychivogo razvitiya territoriy: Materialy Mezhdunar. konf. [InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference]*. 2021. V. 27. Part 2. P. 5–16. DOI 10.35595/2414-9179-2021-2-27-5-16 [in Russian].

29. Rotanova, I. N., Yunakov, V. S. (2022) Approaches to the creation of a Regional GIS of the Altai Krai. *Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management]*, 4(28), 156-169. DOI:10.38028/ESI.2022.28.4.012 [in Russian].

30. Solovyeva, E. D., Mitrofanova, N. O. (2021) The role of geoportals in the management of the land and property fund of municipalities. *Regulirovanie zemel'no-imushhestvennyh otnoshenij v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, ocenka nedvizhimosti, jekologija, tehnologicheskie reshenija [Regulation of land and property relations in Russia: legal and geospatial support, real estate valuation, ecology, technological solutions.]*, 3, 122-131. DOI: 10.33764/2687-041X-2021-3-122-131 [in Russian].

31. Hudobjberdiev, F. Sh., Nazarov, I., Mirzamurotov, M. (2023) Formation and geovisualization of a geospatial database of solid waste landfill locations based on geoen지니어ing technologies. *Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Nauchnyj Fokus» [International scientific journal "Scientific Focus"]*, 6, 408–413 [in Russian].

32. Al Nuaimi E., Al Neyadi H., Mohamed N., Al-Jaroodi J. (2015). Applications of big data to smart cities. *J Internet Serv Appl* 6, 25 DOI 10.1186/s13174-015-0041-5.

33. Kitchin, R. (2015). Data-driven, networked urbanism. *The Programmable City Working Paper* 14. 1–18. DOI 10.2139/ssrn.2641802.

34. Karpik, A. P. (2012) Sovremennoe sostojanie i problemy geoinformacionnogo obespechenija territorij *Interexpo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* p. 3–8 [in Russian].

35. Kukharenko E. L. (2024). Visual geanalytics tool within the framework of No-Code and Low-Code concept. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, (29-6):83–97. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-83-97 [in Russian].

36. Kukharenko E. L. Theoretical and methodological bases for visualizing geospatial data, linked data and multimedia data without programming. *Geoinformatika [Geoinformatics]*. 2024;(3):4–11. DOI 10.47148/1609-364X-2024-3-4-11 [in Russian].

37. Kukharenko, E. L. Visualization of geospatial data without programming: theory and implementation *Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying. [News of universities “Geodesy and aerial photography”]*. 2024;68(5):58-76. DOI 10.30533/GiA-2024-029 [in Russian].

38. Zavala-Romero, O., Chassignet, E. P., Zavala-Hidalgo, J., Velissariou, P., Pandav, H., Meyer-Baese, A. OWGIS 2.0: Open source Java application that builds web GIS interfaces for desktop and mobile devices. *SIGSPATIAL '14: Proceedings of the 22nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. 2014. Pp. 311–320. DOI 10.1145/2666310.266638.

39. Doncov, A. A., Sutorihin, I. A. (2017) Specialized geoinformation system for automated monitoring of rivers and reservoirs. *Vychislitel'nye tehnologii [Computing technologies]*, 22(5), 39-46 [in Russian].

40. Artamonov, Ju. S., Vostokin, S. V. (2016) Development of distributed data collection and analysis applications based on microservice architecture. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 18(4-4), 688-693 [in Russian].

41. Doncov, A. A., Sutorihin, I. A. (2021) Development of a geographic information system based on microservice architecture. *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* 1, 41-44. DOI 10.33764/2618-981X-2021-4-1-41-44 [in Russian].

### Author details

*Evgeniy L. Kukharenko* – Ph. D., Senior Researcher.

Received 26.12.2024

© *E. L. Kukharenko*, 2025

УДК 528.9:001

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-58-67

## Формализация выбора результата картографического обеспечения научно-производственной деятельности

Д. С. Логинов<sup>1,2</sup>✉

<sup>1</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии,  
г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>ООО «Целевой Горизонт», г. Москва, Российская Федерация

e-mail: loginov@geohorizon.ru

**Аннотация.** Результаты современного картографического обеспечения научно-производственной деятельности отличаются многообразием цифровых картографических продуктов и используемых технических средств для картографической визуализации пространственных данных. В целях поддержки корректного использования методов картографии и геоинформатики неподготовленными пользователями при решении прикладных задач требуется разработать методический аппарат формализации выбора результатов картографического обеспечения. В статье представлено решение поставленной задачи, имеющей практическое и теоретическое значение соответственно для отраслевых организаций и картографической науки. Подробно освещены вопросы адаптации при выборе результатов обеспечения приложений аналитической картографии, в том числе концепции «Реальные и Виртуальные карты», и концепции геовизуализации. Комбинированный подход учета базовых факторов проектирования карт и поликонцептуальности современной картографии реализован в виде блок-схемы, направленной на формализацию процесса принятия решения по выбору результата картографического обеспечения. Дано описание практического применения, отмечены перспективы использования разработанного методического аппарата для автоматизации процесса выбора результата и его программной реализации в виде автоматизированной системы принятия пространственных решений.

**Ключевые слова:** автоматизация, аналитическая картография, картографическое обеспечение, концепция геовизуализации

### Для цитирования:

Логинов Д. С. Формализация выбора результата картографического обеспечения научно-производственной деятельности // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 58–67. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-58-67

### Введение

Совокупность современных технологических направлений создания и использования пространственных данных, а также разработки на их основе картографических и геоинформационных продуктов формирует текущее многообразие результатов системного картографического обеспечения научно-производственной деятельности. При этом его технический аспект, который заключается в организации технического пространства поиска, систематиза-

ции, использования и публикации пространственных данных, способствует не только подготовке совокупности цифровых картографических и геоинформационных продуктов, но также создает условия для их взаимных преобразований. Например, пространственные данные представляют основу для подготовки ГИС-проектов, которые могут быть как конечным результатом обеспечения, так и промежуточным средством для разработки картографических веб-сервисов и других производных продуктов. Системный учет таких преобразований

может способствовать формированию итоговых результатов обеспечения более высокого ранга, в том числе инфраструктуры пространственных знаний [1], а также подготовке экспертных систем и систем принятия решений по выбору того или иного информационного ресурса.

Поскольку сегодня имеются технические условия для самостоятельного выполнения отраслевыми специалистами картографического обеспечения в его традиционном понимании (создание и/или использование результата картографии в прикладных целях), разработка методологического аппарата выбора оптимального результата обеспечения приобретает большую теоретическую и практическую значимость. Исходя из вышесказанного, цель текущего исследования – сформулировать подходы и разработать методический аппарат формализации выбора результатов картографического обеспечения, необходимых для принятия решений в научно-производственной деятельности.

### **Материалы и методы**

В основе работы – выполненная ранее автором серия исследований по систематизации результатов отечественного картографического обеспечения [2], адаптации опыта зарубежных картографов по учету взаимных преобразований видов результатов картографических работ к веб-картографированию [3], а также зарубежные исследования по разработке теоретических основ концепции гео визуализации [4] и разделов аналитической картографии [5, 6].

При разработке решений по формализации учитывается опыт научно-учебного центра геоинформационного картографирования МИИГАиК по автоматизации выбора способов картографического изображения картографируемых объектов и явлений [7], выбора картографических проекций мультимасштабной карты в ГИС и при веб-картографировании [8], автоматизации процессов атласного картографирования [9], в том числе формализации принятия решений по включению тематических карт в структуру комплексных региональных атласов [10].

### **О преобразованиях результатов картографического обеспечения**

Исследования преобразований картографических продуктов восходят к 1960-м гг. – периоду массового появления новых пространственных моделей, которые в полной мере не подходили к традиционному определению термина «карта». Резкий переход к новым технологиям создания карт, основанным на информатике и математике, а также появление новых электронных технических устройств (графических дисплеев, систем оцифровки, плоттеров) потребовали сформировать понятийный аппарат для обозначения карт, которые выводились на экране дисплея, и пространственных баз данных, в которых хранились «не карты». Одним из решений стала концепция «Реальные и виртуальные карты» [5], сформулированная Н. Moellering в рамках теоретического направления аналитической картографии (основоположник направления – W. Tobler). В ее основе ответы на два дихотомических вопроса: «продукт прямо виден как пространственное изображение?» и «продукт представляет собой твердую копию?» (в поздних работах формулировка вопросов уточнена до следующего вида: «можно ли непосредственно просматривать карту как картографическое изображение?» и «есть ли у него постоянная осязаемая реальность?»). Ответы на эти вопросы позволяют описать класс реальных карт ( $R$ ), три класса виртуальных карт ( $V_1, V_2, V_3$ ) и их 16 преобразований.

Н. Moellering отмечает классификацию «исчерпывающей» («все географические, пространственные и картографические продукты могут быть включены в эту классификацию») и способной к масштабированию («в нее могут попасть вновь появляющиеся формы продуктов пространственной информации») [6]. Однако детальное описание состава карт ( $R$ ) и ( $V$ ) оставалось дискуссионным (например, А. М. Берлянт отмечает отсутствие данных дистанционного зондирования [11]) и претерпевало изменения. Так, были включены не только собственно результаты картографических работ (аналоговые и электронные изображения), но также техни-

ческие средства для их визуализации (мониторы) и явно не относящиеся к картографическим моделям продукты (цифровые записи на различных носителях, справочники и записи полевых съёмочных наблюдений).

Тем не менее, для современного картографического обеспечения работы Н. Moellerling представляют особый интерес, поскольку являются первыми попытками «свести все многообразие новых пространственных моделей ... к привычному и всеобъемлющему понятию “карта”» [6]. Концепция наглядно показывает, что традиционная карта ( $R$ ) есть результат преобразования целого ряда иных продуктов ( $V_1, V_2, V_3$ ), не всегда изначально представленных в картографической форме, но обладающих возможностью быть таковыми при выполнении

определённых преобразований. Концепция также выступает доказательством состоятельности деятельного подхода к пониманию картографического обеспечения, поскольку наглядно иллюстрирует естественный процесс изменения формы передачи картографической информации.

В связи с развитием коммуникационных возможностей цифровых картографических продуктов автором ранее был дополнен состав карт ( $R$ ) и ( $V$ ) с позиций подготовки веб-картографических приложений [3], которые в настоящее время представляют собой одно из последних состояний компонента «результат» системы картографического обеспечения. Сопоставление источников [3, 6, 7], в которых даются описания состава карт ( $R$ ) и ( $V$ ), представлено в таблице.

Сравнение состава компонентов концепции «Реальные и виртуальные карты»

Вид карты	Описание [11]	Исходные состояния [6]	Предлагаемые состояния [3]
$R$	Да, прямой просмотр; Да, печатная копия		
	Любая видимая карта, постоянно существующая в материальной форме	Топографические карты, глобусы, тематические карты, физические трехмерные модели, блок-диаграммы и др.	Собственно карта и другие традиционные картографические произведения
$V_1$	Да, прямой просмотр; Нет, печатная копия		
	Непосредственно видимое изображение, но временно существующее только в электронной форме на экране компьютера	Мониторы компьютеров, видеопроекторы, среда виртуальной реальности, динамические очки, ментальные карты (2-, 3-мерные когнитивные образы)	Интерактивная веб-карта, картографический веб-сервис
$V_2$	Нет, прямой просмотр; Да, печатная копия		
	Постоянно и реально существующая, но невидимая карта, для визуализации которой необходимы дополнительные преобразования	Анаглифы, газетиры, записи голографических изображений, записи преобразований Фурье, данные на лазерных дисках CD-ROM, DVD и т. д.	Исходные (необработанные) данные в специализированных форматах
$V_3$	Нет, прямой просмотр; Нет, печатная копия		
	Карта, полностью готовая к преобразованию в любой из типов	Цифровые модели местности, пространственные базы данных, компьютерная память, магнитная лента, картриджи, кассеты и т. д., а также ментальные карты (маршруты, списки направлений и т. д.) и т. д.	Обработанные данные в виде цифровых моделей, локальных и удаленных серверных картографических баз данных (в том числе распространяемых по стандартам OGC)

Актуализированное понимание состава карт ( $R$ ) и ( $V$ ) способствует устранению несистемного использования классификаций картографических произведений и совмещению цифровых моделей местности с техническими устройствами хранения и визуализации информации. Опираясь на пространственные данные как основу современных картографических продуктов, новые описания карт ( $R$ ) и ( $V$ ) позволяют формализовать текущую практику подготовки картографических веб-сервисов и интерактивных карт ( $V_1$ ) как основных каналов передачи и визуализации пространственных данных, хранящихся в файлах специальных форматов ( $V_2$ ) и/или накопленных в базах пространственных данных ( $V_3$ ). В части картографического обеспечения актуализация состава основных элементов концепции «Реальные и виртуальные карты» также позволяет распределить физически реализуемые компоненты системы картографического обеспечения «результат» и «источники данных» в терминах карт ( $R$ ) и ( $V_1$ ), ( $V_2$ ), ( $V_3$ ) соответственно. Таким образом, учет приложений аналитической картографии способствует формированию теоретической основы для формализации выбора результата картографического обеспечения.

***Подходы к формализации выбора результата картографического обеспечения на основе концепции геовизуализации***

В силу наличия взаимных преобразований многообразие результатов картографического обеспечения способствует неоднозначному положению цифровых картографических и геоинформационных продуктов в системе взаимодействия картографического, информационного и геоинформационного обеспечения. В этом отношении ранее предложенные автором модели вида «симбиотический треугольник» [2] формируют методологическую основу систематизации и формализации выбора конечного продукта картографического обеспечения. Цель формализации – предоставить возможность отраслевому специалисту (как пред-

ставителю научно-производственной деятельности) на этапе обращения к картографическому обеспечению определить в автоматизированном режиме совокупность цифровых картографических продуктов, которые могут стать ответом на его потребности.

Основной подход к формализации и последующей автоматизации традиционных картографических процессов предполагает определение круга факторов, которые влияют на их выполнение. Поскольку важным звеном реализации картографического обеспечения научно-производственной деятельности является тематическое и общегеографическое картографирование, на выбор конечного результата оказывают влияние базовые факторы проектирования карт и требования к результату – назначение, характер использования, требования к точности и т. д. Учет этих факторов предлагается осуществить в терминах концепции геовизуализации – теоретического направления на стыке коммуникативной и картосемиотической концепции, когнитивной картографии и геоинформатики. Согласно ключевым работам основоположников концепции (D. DiBiase, D. R. F. Taylor, A. MacEachren), геовизуализация предполагает «использование новейших средств и цифровых технологий для отображения пространственно-временной географической информации» [11], а карты выступают как инструменты, используемые для понимания пространственных отношений, поддерживающие мыслительные процессы пользователей. Последующие уточнения принципов геовизуализации позволили А. MacEachren и М.-J. Kraak сформировать графическую модель «картографический куб использования карт», которая определяет изменения роли карт в зависимости от задачи, частоты взаимодействия и типа пользователей [4].

По своей конструкции модель «картографический куб использования карт» подходит к описанию деятельного аспекта картографического обеспечения, поскольку в ней представлены оси «задачи использования карт», «пользователи карты» и «интер-

активность карты», которые задаются условиями научно-производственной деятельности. Диагональ куба позволяет определить функцию, которую выполняет цифровой картографический продукт, применяемый в процессе обеспечения. В итоге один из подходов к формализации может быть представлен в виде ответов на последовательные вопросы, сформулированные в соответствии с осями картографического куба использования карт:

- 1) «требуется анализ или публикация?» (ось «задачи использования карт»);
- 2) «предполагается личное или общее использование?» (ось «пользователи карты»);
- 3) «требуется интерактивность или статичность продукта?» (ось «интерактивность карты»).

Следует отметить, что свойства результатов обеспечения усложняют реализацию такого подхода – например, и ГИС-проект, и веб-сервис могут быть подготовлены как для личного (или ограниченного круга пользователей), так и для общего пользования. В этой связи требуется также учесть содержательную часть процесса картографического обеспечения, а именно состояния его компонентов – «источники данных», «методы, концепции», «технические средства». Из рис. 1 видно, что конечный результат картографического обеспечения определяется применяемой комбинацией состояний внутренних компонентов системы, состав которых напрямую зависит от осведомленности пользователя о наличии современных технических средств, источников пространственных данных и методов подготовки видов результатов обеспечения. Таким образом, для выбора результата требуется предварительная оценка уровня реализации картографического обеспечения научно-производственной деятельности. По ее итогам пользователь либо снижает исходные требования к результату (либо осуществляет мероприятия по повышению уровня реализации компонента), либо обращается к иным видам результата, которые можно

достичь с текущим доступным набором состояний компонентов. Например, если пользователю необходимо создать картографический веб-сервис, то главным условием реализации будет наличие технических средств веб-картографирования, квалифицированного специалиста, источников данных. При отсутствии одного из условий пользователю потребуются либо осуществить меры по восполнению соответствующего недостающего элемента, либо ограничиться подготовкой других видов результатов – например, созданием ГИС-проекта или мультимедийного картографического продукта.



Рис. 1. Схема подготовки результатов на базе компонентов системы картографического обеспечения

### Блок-схема выбора результата картографического обеспечения

Объективные трудности однозначной формализации выбора результата картографического обеспечения на базе основных групп факторов предполагают использование комбинированного подхода – учета особенностей технических процедур картографического обеспечения и основных вариантов реализации принципов концепции гео визуализации. Графически соответствующий процесс принятия решения по выбору результата картографического обеспечения представлен на рис. 2.

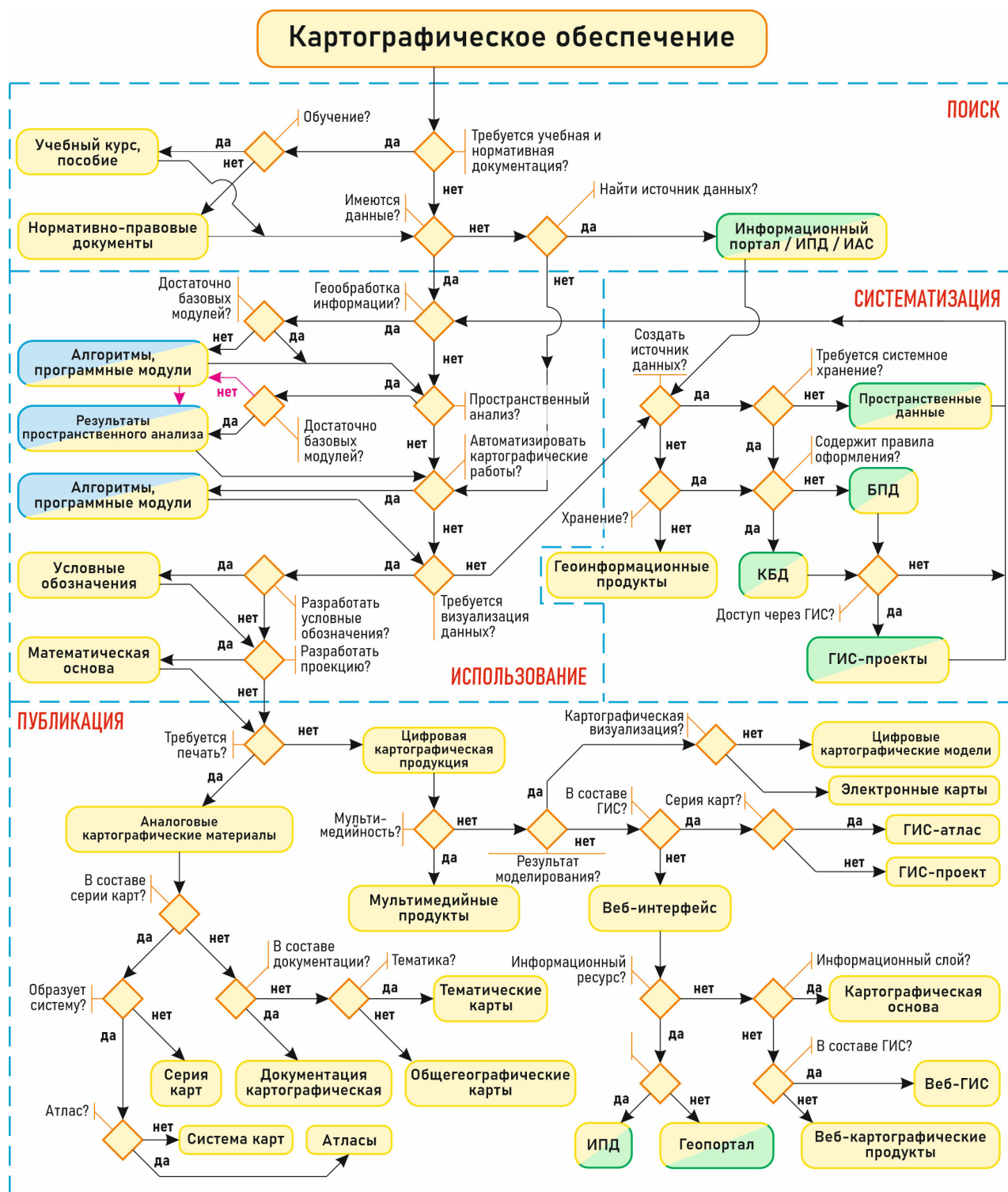


Рис. 2. Блок-схема формализации выбора результата картографического обеспечения

В результате такого подхода практическое применение блок-схемы осуществляется следующим образом. Пользователь отвечает на последовательные вопросы, связанные с этапами технического аспекта процесса картографического обеспечения (поиск, система-

тизация, использование, публикация), в ходе которых могут быть получены виды результатов, представленные в настоящий момент в отечественных публикациях по теме картографического обеспечения [2]. Так, согласно рис. 2 до перехода к технической процедуре

«публикация», в которой представлено большинство основных результатов картографического обеспечения, пользователь может получить указания по изучению нормативно-правовых документов, поиску («поиск») и/или созданию источников данных («систематизация»), их обработке и анализу («использование»). Как следствие, такие результаты, как пространственные данные, ГИС-проекты, алгоритмы и программные модули, условные обозначения и др. могут носить промежуточный характер для подготовки на их основе итоговых картографических продуктов, но также могут считаться и конечным результатом картографического обеспечения. Такая ситуация подробно рассмотрена в работе [3] на примере подготовки веб-сервисов геологоразведочного назначения.

Если по достижению конкретной рекомендации пользователю нужны дополнительные виды результатов, алгоритм предполагает продолжение работы с блок-схемой. Таким образом, по мере прохождения алгоритма определяется мотивация пользователя (для чего ему необходим конечный продукт), отсекаются многозначные варианты использования одного и того же результата и сужается спектр возможных рекомендаций безотносительно осей куба использования карт.

### **Обсуждение**

Предложенная блок-схема – вариант однозначного распределения по предложенным ранее подходам совокупности цифровых картографических продуктов, которые в настоящее время реализуются в рамках картографического обеспечения. Для технической реализации блок-схемы следует предварительно выполнить первичный анализ оценки уровня реализации картографического обеспечения в искомой научно-производственной деятельности. Данные меры позволят исключить из автоматизированного выбора отдельные ветки блок-схемы, которые на текущий момент не доступны пользователю в силу различных причин. Такими причинами могут быть отсутствие потребности научно-производственной деятельности в соответствующих результатах, техническая оснащенность

организации, в которой выполняется научно-производственная деятельность, уровень подготовки кадрового состава и т. д.

В концептуальном плане блок-схема реализует принципы *R/V*-преобразований, тем самым определяя, что каждый результат картографического обеспечения может быть преобразован в новый по своему виду продукт. При этом учитывается функциональное назначение продукта – так, пространственные данные, картографические базы данных, ГИС-проекты могут служить не только результатом, но также источником для подготовки результатов.

Применение концепции геовизуализации приближает системный процесс картографического обеспечения к новым теоретическим направлениям картографии. Так, зарубежными исследователями отмечается, что «геовизуализация стала больше связана с процессом и получением знаний, а не со строгой информацией и графикой» [12]; геовизуализация – это «люди, карты, процессы и получение информации и знаний», которые могут «привести к просвещению и принятию решений» [13]. Актуальность геовизуализации состоит «в растущих потребностях совместного принятия решений, поддерживаемых пространственными представлениями и наборами данных, во многих областях человеческой деятельности» [4], что прямо соответствует цели картографического обеспечения – познать все стороны предмета исследования через совокупность моделей и применить полученные знания для выработки и реализации программы рационального взаимодействия с окружающей действительностью в контексте научно-производственной деятельности.

Одной из практических реализаций блок-схемы может служить справочно-поисковая система, в которой посредством последовательных ответов на вопросы пользователь получает рекомендации по обращению к тому или иному продукту. Также сформулированные подходы и разработанный методический аппарат формализации выбора результатов обеспечения научно-производственной деятельности могут быть положены в основу автоматизированной системы принятия про-

странственных решений и/или отдельных технологических решений, в том числе в виде цифровых картографических продуктов, направленных на «цифровую трансформацию картографического производства» [14]. При этом аккумуляция результатов использования такой системы может увеличить круг потенциальных пользователей и способствовать получению эмпирического материала для формирования баз знаний и применения искусственного интеллекта для программной реализации предложенного решения.

### Заключение

Картографическое обеспечение как социально ориентированный процесс предполагает многообразие конечных продуктов, применяющихся для познания аспектов окружающей действительности и принятия прикладных решений. Предложенный методический аппарат формализации выбора конечного результата картографического обеспечения

с практической стороны направлен на корректное использование методов картографии неподготовленными пользователями, которыми являются отраслевые специалисты. С теоретической стороны результаты исследования формируют часть теоретико-методологических основ картографического обеспечения как особого процесса, выполнение которого требует учета поликонцептуальности современной картографии, в том числе сильных сторон каждой концепции и технологических направлений подготовки пространственных данных. Представленная в текущем исследовании попытка адаптировать некоторые достижения аналитической картографии и концепции геовизуализации к современным реалиям выбора и подготовки результатов картографических работ показала целесообразность использования системного подхода к пониманию картографического обеспечения для формирования объективной основы совершенствования картографического производства и теории картографии.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Янкелевич С. С. К вопросу создания инфраструктуры геопространственных знаний // Информатика и космос. – 2023. – № 2. – С. 114–120.
2. 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.
3. Loginov D. Real and Virtual maps conception in web mapping: a case of cartographic support for geological exploration in Andaman deep water basin // Proceedings of the 31th Cartographic Conference, 13–18 August 2023, Cape Town, South Africa. – 2023. – Vol. 5. – No 13. – P. 8. – DOI 10.5194/ica-proc-5-13-2023.
4. MacEachren A., Kraak M.-J. Research Challenges in Geovisualization // Cartography and Geographic Information Science. – 2001. – Vol. 28. – No 1. – Pp. 3–12. DOI 10.1559/152304001782173970.
5. Moellering H. Expanding the ICA conceptual definition of a map // Proceedings of the 23th Cartographic Conference, 4–10 August 2007, Moscow, Russia. – 2007. – P. 15. URL: [https://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm](https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm) (дата обращения: 28.05.2025).
6. Moellering H. Discovering the new world of analytical cartography // Системы и средства информатики. Systems and means of informatics. – 2008. – Т. 18. – № 3. – С. 357–378.
7. Иванов А. Г., Булыгина О. А. Автоматизация процессов выбора способов изображения картографируемых объектов и явлений // Геодезия и картография. – 2012. – № 10. – С. 27–32.
8. Загребин Г. И. Выбор оптимальных картографических проекций мультимасштабной карты // Геодезия и картография. – 2025. – № 4. – С. 8–18. – DOI 10.22389/0016-7126-2025-1018-4-8-18.
9. Крылов С. А., Загребин Г. И., Дворников А. В., Логинов Д. С., Фокин И. Е. Теоретические основы автоматизации процессов атласного картографирования // Изв. вузов.

Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т. 62. – № 3. – С. 283–293. – DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-3-283-293.

10. Логинов Д. С., Крылов С. А. Формализация процесса принятия решения по включению геофизических карт в комплексные атласы // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81. – № 10. – С. 16–29. – DOI 10.22389/0016-7126-2020-964-10-16-29.

11. Берлянт А. М. Теория геоизображений. – М. : Геос, 2006. – 262 с.

12. Fitzpatrick M., Hedley N. Review of the state of practice in geovisualization in the geosciences // Front. Earth Sci. – 2024. – 11:1230973. – DOI 10.3389/feart.2023.1230973.

13. Dykes J., MacEachren A., Kraak M.-J. Exploring Geovisualization. – International Cartographic Association. Pergamon, 2005. – P. 710.

14. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Исследование мировых трендов и обоснование направлений развития сферы геодезии и картографии РФ до 2030 года // Геопрофи. – 2021. – № 1. – С. 4–16.

### Об авторах

*Дмитрий Сергеевич Логинов* – кандидат технических наук, доцент кафедры визуализации геоданных и картографического дизайна (картографический факультет, МИИГАиК); главный картограф (ООО «Целевой Горизонт»).

Получено 02.06.2025

© Д. С. Логинов, 2025

## Formalizing the selection of cartographic support results in scientific and industrial activities

*D. S. Loginov<sup>1, 2✉</sup>*

<sup>1</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> LLC «Tselevoi Gorizont», Moscow, Russian Federation

e-mail: loginov@geohorizon.ru

**Abstract.** Modern cartographic support for scientific and production activities encompasses diverse digital products and visualization technologies. Challenges arise in ensuring untrained users correctly select cartographic outputs for applied problems, necessitating a formalized methodological framework. The author presents an integrated approach combining principles of map design and geovisualization, including “Real and Virtual maps,” to structure the decision-making process for selecting cartographic results. The framework, illustrated as a flowchart, facilitates formalized selection and supports practical automation through an automated spatial decision support system. This solution offers both theoretical advances and practical utility for industry and cartographic research.

**Keywords:** automation, analytical cartography, cartographic support, geovisualization concept

### REFERENCES

1. Yankelevich, S. (2023). On the issue of creating a geospatial knowledge infrastructure. *Informacia i Kosmos [Information and Space]*, 2, 114–120 [in Russian].

2. Loginov, D. S. (2025). Systematisation of results and approaches for understanding cartographic support of scientific and production activities. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(30), 75–87. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-75-87 [in Russian].

3. Loginov, D. (2023). Real and Virtual maps conception in web mapping: a case of cartographic support for geological exploration in Andaman deep water basin. *In Proceedings of the 31th*

*Cartographic Conference, 13–18 August 2023, Cape Town, South Africa*, 5(13), 8 p. DOI 10.5194/ica-proc-5-13-2023.

4. MacEachren, A., Kraak, M.-J. (2001). Research Challenges in Geovisualization. *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), 3–12. DOI 10.1559/152304001782173970.

5. Moellering, H. (2007). Expanding the ICA conceptual definition of a map. *In Proceedings of the 23th Cartographic Conference, 4–10 August 2007, Moscow, Russia, 15 p.* Retrived from URL: [https://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm](https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm).

6. Moellering, H. (2008). Discovering the new world of analytical cartography. *Sistemy i sredstva informatiki [Systems and means of informatics]*, 18(3), 357–378.

7. Ivanov, A. G., Bulygina, O. A. (2012). Automation of the processes of selecting the way of representation of the objects and phenomena to be mapped. *Geodezia i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 27–32 [in Russian].

8. Zagrebin, G. I. (2025). Selecting optimal projections of a multiscale map. *Geodezia i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 86(4), 8–18. DOI 10.22389/0016-7126-2025-1018-4-8-18 [in Russian].

9. 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 vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, 62(3), 283–293 [in Russian]. DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-3-283-293.

10. Loginov D. S., Krylov S. A. (2020). Formalization of decision making process on including geophysical maps into integrated atlases. *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 964(10), 14–27 DOI 10.22389/0016-7126-2020-964-10-14-27 [in Russian].

11. Berlyant, A. M. (2006). *Teoria geoizobrazhenij [Theory of geoimages]*. Moscow: Geos, 262 p.

12. Fitzpatrick, M., Hedley, N. (2024). Review of the state of practice in geovisualization in the geosciences. *Front. Earth Sci*, 11:1230973. DOI 10.3389/feart.2023.1230973.

13. Dykes, J., MacEachren, A., Kraak, M.-J. (2005). Exploring Geovisualization. *International Cartographic Association. Pergamon*, 710 p.

14. Karpik, A. P., & Lisitsky, D. V. (2021). Research of global trends and justification of the directions of development of the sphere of geodesy and cartography of the Russian Federation until 2030. *Geoprofi: nauchno-tekhnicheskiy zhurnal po geodezii, kartografii i navigatsii [Geoprofi: scientific and technical journal of geodesy, cartography and navigation]*, 1, 4–11.

### Author details

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

Received 02.06.2025

© D. S. Loginov, 2025

УДК 528.92+(656.13:004.45)(470.6)  
DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-68-77

## Создание карт рассеивания выбросов автомобильного транспорта при помощи компьютерной программы «ЭКО центр – РРВА» (на примере автомобильных дорог Республики Крым)

А. Ю. Мельничук<sup>1</sup>, Е. В. Антоненко<sup>1✉</sup>, Ю. И. Макаришина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского,  
г. Симферополь, Российская Федерация

e-mail: antonenkatrina87@gmail.com

**Аннотация.** В статье представлен метод построения карт полей рассеивания выбросов автомобильного транспорта, разработанный при помощи программного обеспечения «ЭКО центр – РРВА». В качестве исследуемых объектов взяты участки автодорог федерального и регионального значения на территории Республики Крым. Приведены расчетные данные по концентрации вредных веществ (угарный газ, сернистый газ, метан и др.) при различных скоростях движения автотранспорта в границах сельских населенных пунктов и за их пределами. Установлено, что фазы ускорения и замедления транспортных средств значительно увеличивают уровень токсичных выбросов. Созданные карты рассеивания дают возможность оперативно и качественно определять зоны повышенного экологического риска. На примере одного из исследуемых участков (с. Приятное Свидание) показано, что по ряду веществ не зафиксировано превышения ПДК, но расчеты для диоксида азота выявили зону рассеивания протяженностью свыше 300 метров. Результаты исследования рекомендуется использовать при создании новой дорожной инфраструктуры и разработке мер по защите атмосферы от загрязнений.

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, придорожные территории, автомобильные выбросы, карта полей рассеивания, программное обеспечение, «ЭКО центр – РРВА»

### Для цитирования:

Мельничук А. Ю., Антоненко Е. В., Макаришина Ю. И. Создание карт рассеивания выбросов автомобильного транспорта при помощи компьютерной программы «ЭКО центр – РРВА» (на примере автомобильных дорог Республики Крым) // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 68–77. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-68-77

### Введение

Реализация положений Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. (Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 № 1734-р – URL: [http://government.ru/docs/transport\\_strategy2030](http://government.ru/docs/transport_strategy2030). – Текст : электронный) позволила вывести строительство автомобильных дорог в России на качественно новый этап. Этот документ, определяющий долгосрочные приоритеты развития транспортной системы, стал ключевым фактором масштабных преобразований

в отрасли. За прошедшее десятилетие в стране достигнуты существенные результаты в сфере дорожного строительства. Модернизация существующей инфраструктуры и возведение стратегически важных транспортных объектов оказали положительное влияние на социально-экономическое развитие регионов, способствуя улучшению их транспортной доступности и инвестиционной привлекательности [1].

За последнее десятилетие (2014–2024 гг.) в Республике Крым произошло значительное расширение сети автомобильных дорог общего пользования – их протяжённость увели-

чилась на 2 000 км. В этот период успешно реализованы масштабные инфраструктурные проекты федерального значения, включая строительство автомагистрали «Таврида» и транспортного перехода через Керченский пролив с сопутствующей инфраструктурой. Однако, несмотря на очевидные социально-экономические преимущества, связанные с развитием дорожной сети, следует учитывать, что автомобильные дороги представляют собой значительный источник экологических рисков. Они вызывают трансформацию природных ландшафтов, способствуют разрушению естественных местообитаний дикой фауны, а также являются постоянными источниками акустического загрязнения и других видов негативного воздействия на окружающую среду. В этой связи оценку влияния автодорожной инфраструктуры необходимо проводить комплексно, учитывая как социально-экономические аспекты, так и экологические последствия ее эксплуатации.

Проблематика загрязнения атмосферы автомобильными выбросами нашла отражение в трудах российских исследователей, включая М. Е. Берлянда, А. А. Дементьева, Н. В. Короткову, Л. К. Трубину [2–5], а также зарубежных специалистов, таких как P. Tafi-dis, С. Marino и др. [6, 7]. В современных научных изысканиях наблюдается переход от классических математических моделей и экспериментальных методов к комплексному использованию специализированного программного обеспечения, нейросетевых алгоритмов и когнитивных технологий. Значительный вклад в развитие методологии внесли Е. А. Сысоева, М. О. Гельманова, С. Г. Ницкая, А. В. Геренштейн [8, 9], предложившие комбинированное применение CFD-моделирования с современными программными решениями (ANSYS Fluent V19.2, ENVI-met) для создания трехмерных климатических моделей и симуляции воздушных потоков в условиях городской застройки. В международной практике широкое распространение получили программные продукты ENVI-met и AERMOD [10, 11], эффективно решающие задачи расчета концентраций загрязнителей и анализа их распространения.

Инновационным направлением стало внедрение нейросетевых технологий в моделирование процессов рассеивания вредных веществ, подробно рассмотренное в исследованиях А. Bekkar и В. Hssina [12]. Когнитивные подходы, в свою очередь, обеспечивают оперативную обработку информации и открывают новые возможности визуализации геопространственных данных [13].

В рамках данной статьи ставится задача оценить и визуализировать уровень загрязнения придорожных территорий автомобильными выбросами (на примере автомобильных дорог Республики Крым) посредством построения карт рассеивания в специализированном программном комплексе «ЭКО-центр – РРВА».

### ***Методы и материалы***

Исследование уровня загрязнения нижних слоев атмосферы выхлопными газами автомобилей включало комплексный анализ трех ключевых аспектов: во-первых, изучение параметров транспортного потока и его характеристик, во-вторых, оценку физико-географических условий территории, в-третьих, проведение расчетных операций в соответствии с действующей нормативной Методикой (Об утверждении методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха: приказ министерства природных ресурсов и экологии РФ от 27.11.2019 № 804. – URL: <https://docs.cntd.ru>. – Текст: электронный).

Полевые исследования и сбор эмпирических данных осуществлялись в течение 2022–2023 гг. на тестовых участках, расположенных вдоль автомобильных дорог федерального и регионального значения в Республике Крым (рис. 1). В ходе работ проводился мониторинг текущего состояния атмосферного воздуха с фиксацией основных параметров транспортной нагрузки и природных факторов, влияющих на процессы рассеивания загрязняющих веществ.

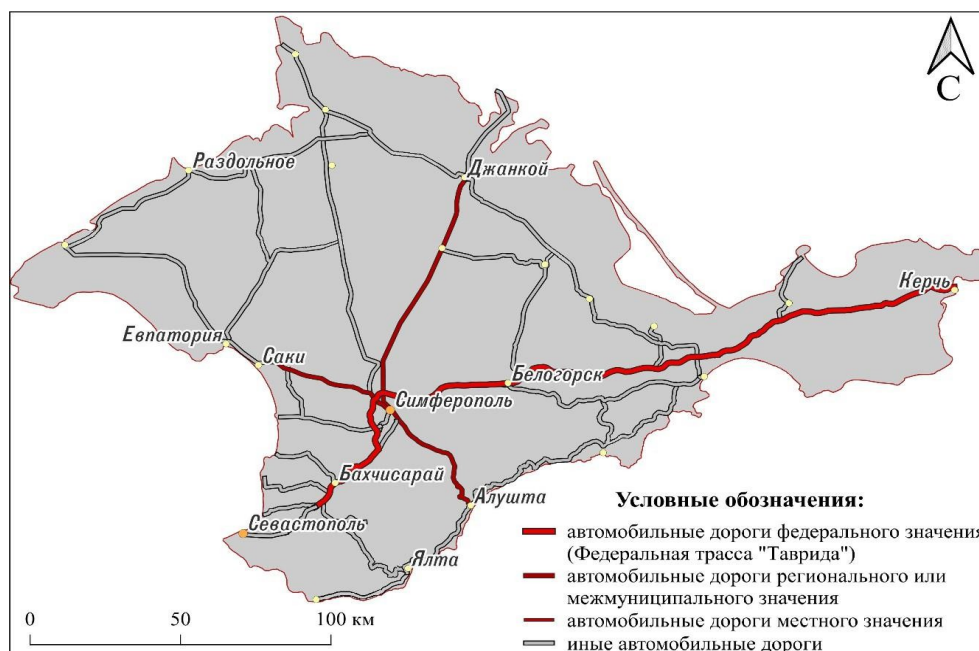


Рис. 1. Автомобильные дороги Республики Крым, участвующие в эксперименте

Для проведения исследования определены экспериментальные участки на автомобильных дорогах федерального, регионального и межмуниципального значения. На федеральной трассе «Таврида» расположены участки в Белогорском (№ 1) и Бахчисарайском (№ 2) районах Республики Крым. На региональных автодорогах Симферополь – Ялта и Симферополь – Евпатория расположены экспериментальные участки № 3 и 5 соответственно. На межмуници-

пальной автодороге Симферополь – Левадки находится экспериментальный участок № 5.

Проведенные натурные наблюдения на обозначенных тестовых участках автомобильных дорог позволили собрать данные о качественном составе и количественных характеристиках автотранспорта, а также зафиксировать динамику изменения его интенсивности [14]. Графическое отображение результатов представлено на рис. 2.

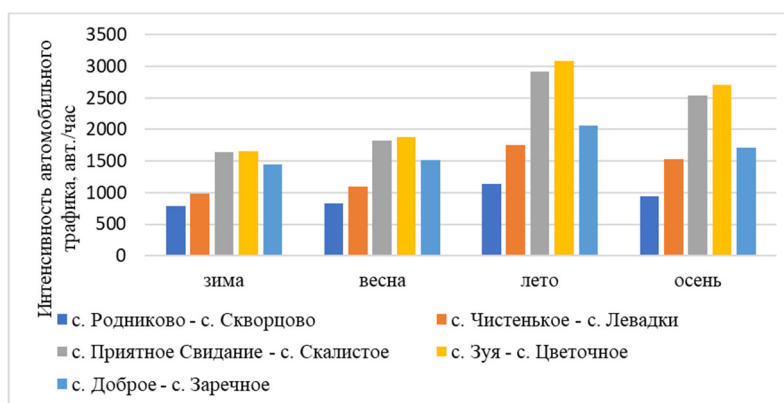


Рис. 2. Годовая интенсивность автомобильного потока на экспериментальных участках

Расчет концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы выполнялся с учетом специфики источников выбро-

сов и климатических особенностей региона на основании действующих нормативов (Об утверждении методов расчетов рассеивания

выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074826>. – Текст: электронный). Полученные данные послужили основой для компьютерного моделирования полей рассеивания вредных химических соединений с применением специализированного программного обеспечения «ЭКОцентр – РРВА».

Функциональные возможности программного комплекса включают:

- оценку степени загрязнения атмосферы на высоте 2 метра от земной поверхности с возможностью прогнозирования как краткосрочных, так и долгосрочных последствий;

- моделирование вертикального распределения концентраций загрязнителей с учетом параметров линейных источников выбросов и текущих метеорологических условий;

- возможность задания произвольных границ исследуемой территории, включая протяженные участки длиной до 100 километров;

- представление итоговых данных в различных формах, как в виде табличных значений, так и в форме картографических схем.

Применение данного программного обеспечения позволяет получить комплексную оценку экологической ситуации с учетом региональных особенностей Крымского полуострова.

Расчет показателей качества атмосферного воздуха проводился в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685–21 (Об утверждении санитарных правил и норм СанПин 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»: постановление Главного государственного санитарного врача РФ: от 28.01.2021 № 3. – URL: <https://base.garant.ru>. – Текст: электронный), включая определение максимальных разовых, среднесуточных и среднегодовых концентраций загрязняющих химических соединений.

Программный комплекс «ЭКОцентр – РРВА» использован для моделирования полей рассеивания таких химических соединений, как оксид углерода, метан и оксид серы. Особое внимание уделялось анализу влияния скоростного режима транспортных средств, который существенно варьируется при въезде в населенные пункты. В своей работе Н. М. Ларионов отмечает [15]: «Оптимальный экологический режим работы двигателей достигается при постоянной скорости 60 км/ч, тогда как любые изменения скорости (разгон или торможение) неизбежно приводят к росту объемов вредных выбросов».

Таким образом, моделирование полей рассеивания проводилось дифференцированно для двух типов участков:

- а) в пределах сельских населенных пунктов с ограничением скорости 40–60 км/ч;

- б) на загородных участках автомобильных дорог с допустимой скоростью выше 60, но не более 90 км/ч.

Для каждого типа участков рассчитаны средние максимально-разовые и среднегодовые концентрации загрязняющих веществ. При построении моделей учитывался комплекс факторов: особенности местного рельефа и климатические характеристики [16].

Наглядной иллюстрацией применяемой методики служат данные по экспериментальному участку № 3 (с. Приятное Свидание), где в табл. 1 систематизированы основные метеорологические параметры и расчетные коэффициенты.

Таблица 1

Метеорологические характеристики и коэффициенты (на примере с. Приятное Свидание)

Наименование характеристики	Величина
Коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы, А	200
Коэффициент рельефа местности в населенном пункте	1
Средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, Т, °С	27
Скорость ветра (по средним многолетним данным), повторяемость превышения которой составляет 5 %, м/с	9

Проведение математического моделирования в пределах населенных пунктов сопряжено с рядом сложностей, обусловленных спецификой застройки и конфигурацией дорожной инфраструктуры. В связи с этим в расчетные модели включены фоновые концентрации загрязняющих веществ, значения которых приведены в табл. 2.

Величины фоновых концентраций для поселений с населением менее 10 000 человек были определены в соответствии с нормативными документами Росгидромета (О направ-

лении Временных рекомендаций «Фоновые концентрации вредных (загрязняющих) веществ для городских и сельских поселений, где отсутствуют регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха» на период с 2019–2023 гг.: письмо Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: от 16.08.2018 № 20-44/282. – URL: <https://docs.cntd.ru/-document/552454239>. – Текст: электронный). Пример расчета фоновых концентраций представлен в табл. 2.

Таблица 2

Расчет фоновых концентраций загрязняющих веществ (на примере экспериментального участка № 3)

Максимальная разовая концентрация при скорости ветра, м/с					
Наименование	Фоновый пост	Направление ветра (и*)			
		С	В	Ю	З
Взвешенные вещества	0,199	0,199	0,199	0,199	0,199
Серы диоксид	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055
Азота диоксид	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
Углерода оксид	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018

Примечание. и\* – скорость ветра, повторяемость превышения которой составляет 5 %.

Таким образом, при создании карт полей рассеивания следует принимать во внимание климатические условия, рельеф местности, уровень загрязняющих веществ и фоновую концентрацию.

### Результаты и обсуждения

На примере экспериментального участка № 3 выполнены расчеты объемов выбросов вредных химических соединений от автотранспорта и последующее построение картографических моделей их распространения с использованием специализированного программного обеспечения «ЭКОцентр – РРВА». Количественные показатели содержания основных загрязнителей – диоксида серы (SO<sub>2</sub>), оксида углерода (CO) и метана (CH<sub>4</sub>) – систематизированы в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета максимальной разовой концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (экспериментальный участок № 3)

Загрязняющее вещество	ПДК/ОБУВ, мг/м <sup>3</sup>	Расчетная максимальная разовая концентрация, мг/м <sup>3</sup>	
		В границах населенного пункта (жилая зона)	Вне границ населенного пункта
SO <sub>2</sub>	0,5	0,058	0,005
CO (II)	5	0,458	0,428
CH <sub>4</sub>	50	0,356	0,270

Результаты проведенных расчетов демонстрируют, что уровни содержания диоксида серы (SO<sub>2</sub>) и оксида углерода (CO) как в границах населенного пункта, так и на прилега-

ющих территориях остаются ниже установленных предельно допустимых норм (см. табл. 3). Концентрации метана ( $\text{CH}_4$ ) варьируются в диапазоне  $0,27\text{--}0,36\text{ мг/м}^3$  при нормативе  $50\text{ мг/м}^3$ , что также не представляет экологической опасности. Следует подчеркнуть, что расчетные среднесуточные и среднегодовые показатели по всем указанным загрязнителям также не достигают критических значений.

Помимо текстовых отчетов, программное обеспечение «ЭКОцентр – РРВА» обеспечивает наглядное представление результатов исследования посредством картографических материалов. В качестве примера на рис. 3 отображено пространственное распределение средних максимальных разовых концентраций оксида углерода ( $\text{CO}$ ), выраженных в долях от ПДК, полученное при моделировании загрязнения на участке федеральной трассы «Таврида» в районе с. Приятное Свидание (Бахчисарайский район).



Рис. 3. Картограмма результатов рассеивания оксида углерода (средняя максимальная разовая концентрация) на примере с. Приятное Свидание

Как показано на рис. 3, концентрации оксида углерода ( $\text{CO}$ ) в приземном слое атмосферы находятся на минимальном уровне, составляя всего  $0,05\text{--}0,1$  от предельно допустимых значений. Наблюдается равномерное распределение данного загрязнителя в приле-

гающей к автодороге зоне шириной 85 метров. Следует отметить, что в предыдущих научных работах [14, 17] были определены характерные значения средних максимально-разовых и среднегодовых концентраций оксида азота ( $\text{NO}$ ). Визуализация пространственного распределения этого загрязняющего вещества представлена на рис. 4.

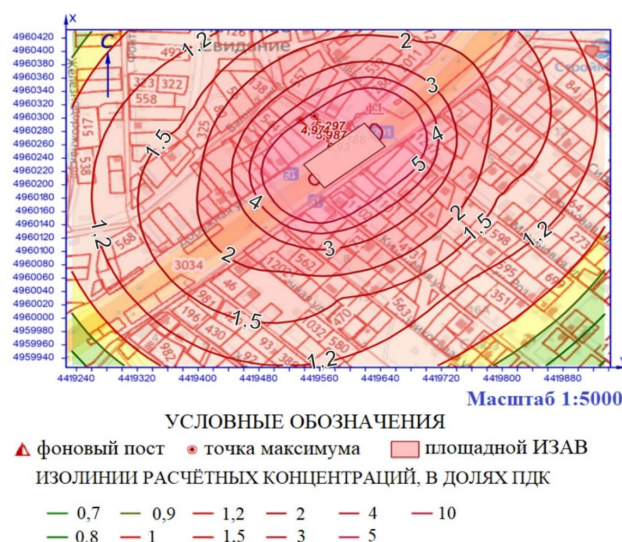


Рис. 4. Картограмма результатов рассеивания оксида азота (средняя максимальная разовая концентрация) на примере с. Приятное Свидание

Результаты моделирования показали, что максимальная разовая концентрация оксида азота ( $\text{NO}$ ) в жилой застройке достигает значений  $7,4\text{ ПДК}$ , формируя зону рассеивания протяженностью 321 метр. Столь существенное воздействие данного загрязнителя объясняется совокупностью факторов: повышенной токсичностью соединения, его высокой химической активностью, а также значительным объемом выбросов, характерных для режимов переменного движения транспортных средств с частыми циклами ускорения и замедления.

### Заключение

Проведенные исследования на тестовых участках автодорог Республики Крым выявили, что концентрации диоксида серы, оксида углерода и метана не превышают уста-

новленных нормативов. Однако мониторинг показал существенное загрязнение оксидом азота, уровень которого при интенсивном транспортном движении может превышать ПДК в 7 раз и более.

Использование программного обеспечения «ЭКОцентр – РРВА» обеспечивает эффективное моделирование полей рассеивания выбросов для различных режимов движения транспорта. Данная функциональность позволяет оперативно выявлять зоны экологического риска и разрабатывать комплекс защитных мероприятий, включающих: установку специализированных экранов, формирование санитарно-защитных зон, проведение озеленительных работ, оптимизацию скоростного режима

движения. Разработанная методика обладает универсальностью применения: она одинаково эффективна для оценки качества воздуха как в городской среде, так и на междугородних трассах. Результаты исследований представляют практическую ценность для органов власти и дорожных служб при разработке природоохранных мероприятий.

Перспективные направления дальнейших исследований включают расширение перечня контролируемых загрязнителей, внедрение систем онлайн-мониторинга с использованием технологий Big Data и IoT, а также совершенствование расчетных моделей с учетом особенностей микроклимата в горных районах Крымского полуострова.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ускова Т. В. Транспортная инфраструктура как фактор развития территорий и связанности экономического пространства // Проблемы развития территории. – 2021. – Т. 25, № 3. – С. 7–22. – DOI 10.15838/ptd.2021.3.113.1.
2. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
3. Дементьев А. А., Цурган А. М., Чудинин Н. В., Соловьёв Д. А. Оценка динамики загрязнения атмосферного воздуха городского центра выбросами автомобильного транспорта картографическим методом // Системы контроля окружающей среды. – 2020. – № 3 (41). – С. 81–89. – DOI 10.33075/2220-5861-2020-3-81-89.
4. Короткова Н. В., Семенова Н. В. Влияние метеорологических условий на загрязнение атмосферного воздуха в Саратове // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 168–173. – DOI 10.18500/1819-7663-2019-19-3-168-173.
5. Трубина Л. К., Николаева О. Н. Об опыте комплексного картографирования экологической обстановки урбанизированных территорий с учетом пространственного распространения загрязняющих веществ // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81, № 6. – С. 20–28.
6. Tafidis P., Gholamnia M., Sajadi P., Vijayakrishnan S. K. and Pilla F. Evaluating the impact of urban traffic patterns on air pollution emissions in Dublin: a regression model using google project air view data and traffic data // European Transport Research Review. – 2024. – Т. 16, № 47. – P. 1–12. – DOI 10.1186/s12544-024-00671-z.
7. Marino C., Pietrafesa M., Nucara A. Assessment of the Road Traffic Air Pollution in Urban Contexts: A Statistical Approach // Sustainability, 2022 14 (7), 4127. – DOI 10.3390/su14074127.
8. Сысоева Е. А., Гельманова М. О. Оценка загрязнения воздуха твердыми частицами PM<sub>2,5</sub> вблизи автомагистралей // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 6. – С. 889–900. – DOI 10.22227/1997-0935.2023.6.889-900.
9. Ницкая С. Г., Геренштейн А. В. Некоторые подходы к моделированию рассеивания загрязняющих веществ в условиях городской застройки // Вестник ЮУрГУ. Сер. Химия. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 171–181. – DOI 10.14529/chem240312.
10. Ferrari S., Santus A., Tendas L. Validation of a numerical software for the simulation of the pollutant dispersion from traffic in a real case: Some preliminary results // EFM22 – Experimental Fluid Mechanics, 2024 EPJ Web of Conferences 299, 01010. – DOI 10.1051/epjconf/202429901010.
11. Amouzouvi Y. M., Dzagli M. M., Sagna K. Evaluation of Pollutants Along the National Road N2 in Togo using the AERMOD Dispersion Model // Journal of Health & Pollution, 2020 Vol. 10, No. 27. – DOI 10.5696/2156-9614-10.27.200908.

12. Bekkar A., Hssina B., Douzi S. Air-pollution prediction in smart city, deep learning approach // Journal of Big Data, 2021, 8 (1). – DOI 10.1186/s40537-021-00548-1.

13. Янкелевич С. С. Развитие тематической картографии на базе геопространственных знаний и когнитивного подхода // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 122–128. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-122-127.

14. Мельничук А. Ю., Антоненко Е. В. Влияние загрязненности приземного слоя атмосферы на кадастровую стоимость земельных участков под индивидуальное жилищное строительство в границах придорожных территорий федеральной трассы «Таврида» // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 124–135. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-124-135.

15. Ларионов Н. М., Рябышенков А. С. Промышленная экология : учебник и практикум для вузов. – М. : Юрайт, 2025. – 472 с.

16. Климатические характеристики и фоновые концентрации [Электронный ресурс]. – URL: <https://eco-profi.info/index.php/klimat/article/25-klimat/4448-respublika-krym-g-simferopolklimat.html>.

17. Антоненко Е. В. Учет экологического состояния территории при кадастровой оценке земель, граничащих с автомобильными дорогами : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Антоненко Екатерина Вячеславовна. – СПб., 2024. – 24 с.

### Об авторах

*Александр Юрьевич Мельничук* – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой землеустройства и кадастра.

*Екатерина Вячеславовна Антоненко* – кандидат технических наук, ассистент кафедры землеустройства и кадастра.

*Юлия Игоревна Макаришина* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры землеустройства и кадастра.

Получено 02.04.2025

© А. Ю. Мельничук, Е. В. Антоненко, Ю. И. Макаришина, 2025

### Modeling and mapping of motor vehicle emission dispersion using the ECO Center – RRVA software: a case study of road networks in the Republic of Crimea

*A. Yu. Melnichuk<sup>1</sup>, E. V. Antonenko<sup>1</sup>✉, Yu. I. Makarishina<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

e-mail: antonenkatrina87@gmail.com

**Abstract.** The study presents a methodology for constructing dispersion maps of motor vehicle emissions using the ECO Center-CDEA software, applied to federal and regional highways in the Republic of Crimea. Calculations of pollutant concentrations (CO, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and others) under varying traffic speeds demonstrated that acceleration and deceleration phases significantly increase toxic emissions. The generated maps enable rapid identification of high-risk environmental zones. A case study in the village of Priyatnoe Svidanie revealed no exceedance of maximum permissible concentrations for most pollutants, yet nitrogen dioxide dispersion extended over 300 meters. The findings are recommended for application in the development of new road infrastructure and designing measures to mitigate atmospheric pollution.

**Keywords:** highways, roadside areas, vehicle emissions, pollutant dispersion map, software, "ECO Center – CDEA"

## REFERENCES

1. Uskova, T. V. (2021). Transport infrastructure as a factor in the development of territories and the connectivity of economic space. *Problemy razvitiya territorii [Problems of territorial development]*, Vol. 25, no. 3, 7–22 DOI 10.15838/ptd.2021.3.113.1 [in Russian].
2. Berlyand, M. E. (1975). *Sovremennye problemy atmosfernoj diffuzii i zagryazneniya atmosfery [Current problems of atmospheric diffusion and air pollution]*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 448 p. [in Russian].
3. Dement'ev, A. A., Tsurgan, A. M., Chudin, N. V., Solov'ev, D. A. (2020). Assessment of the dynamics of air pollution in the city center by emissions from motor vehicles using a cartographic method. *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy [Environmental control systems]*, 3 (41), 81–89 DOI 10.33075/2220-5861-2020-3-81-89 [in Russian].
4. Korotkova, N. V., Semenova, N. V. (2019). The influence of meteorological conditions on air pollution in Saratov. *Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Nauki o Zemle [Izv. Saratov University. New Series. Series. Earth Sciences]*, Vol. 19, No. 3, 168–173 DOI 10.18500/1819-7663-2019-19-3-168-173 [in Russian].
5. Trubina, L. K., Nikolaeva, O. N. (2020). On the experience of complex mapping of the environmental situation of urbanized territories taking into account the spatial distribution of pollutants. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*, Vol. 81, No. 6, 20–28 [in Russian].
6. Tafidis, P., Gholamnia, M., Sajad, i P., Vijayakrishnan S. K., & Pilla F. (2024). Evaluating the impact of urban traffic patterns on air pollution emissions in Dublin: a regression model using google project air view data and traffic data. *European Transport Research Review*. 16 (47), P. 1–12. DOI 10.1186/s12544-024-00671-z.
7. Marino, C., Pietrafesa, M., & Nucara, A. (2022). Assessment of the Road Traffic Air Pollution in Urban Contexts: A Statistical Approach. *Sustainability*, 14 (7), P. 4127. DOI 10.3390/su14074127.
8. Sysoeva, E. A., Gel'manova, M. O. (2023). Assessment of PM<sub>2,5</sub> particulate air pollution near highways. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*, Vol. 18, No. 6, 889–900 DOI 10.22227/1997-0935.2023.6.889-900 [in English].
9. Nitskaya, S. G., Gerenshteyn, A. V. (2024). Some approaches to modeling pollutant dispersion in urban areas. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Khimiya» [Bulletin of the South Ural State University. Ser. «Chemistry»]*, Vol. 16, No. 3, 171–181 DOI 10.14529/chem240312 [in Russian].
10. Ferrari, S., Santus, A., & Tendas, L. Validation of a numerical software for the simulation of the pollutant dispersion from traffic in a real case: Some preliminary results. (2024). *EFM22 – Experimental Fluid Mechanics*, EPJ Web of Conferences, 299, 01010, P. 1–9. DOI 10.1051/epjconf/202429901010.
11. Amouzouvi, Y., Dzagli, M., & Sagna, K. Evaluation of Pollutants Along the National Road N2 in Togo using the AERMOD Dispersion Model. (2020). *Journal of Health & Pollution*, 10 (27), P. 1–12. DOI 10.5696/2156-9614-10.27.200908.
12. Bekkar, A., Hssina, B., & Douzi, S. (2021). Air-pollution prediction in smart city, deep learning approach. *Journal of Big Data*, 8 (1), P. 1–21. DOI 10.1186/s40537-021-00548-1.
13. Yankelevich, S. S. (2022). Development of thematic cartography based on geospatial knowledge and cognitive approach. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27 (4), 122–127 DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-122-127 [in Russian].
14. Melnichuk, A. Yu., & Antonenko, E. V. (2021). Influence of the surface atmospheric layer pollution on the cadastral cost of land plots for private housing construction within the boundaries of the federal road "Tavrida" territories. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26 (4), 124–135 DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-124-135 [in Russian].
15. Larionov, N. M., Ryabyshev, A. S. (2025). *Promyshlennaya ekologiya [Industrial ecology]*. Moskva: Yurayt [in Russian].

16. Climatic characteristics and background concentrations. (n.d.). Retrieved from <https://eco-profi.info/index.php/klimat/article/25-klimat/4448-respublika-krym-g-simferopolklimat.html> [in Russian].

17. Antonenko, E. V. (2024). Uchet ekologicheskogo sostoyaniya territorii pri kadaastrovoy otsenke zemel', granichashchikh s avtomobil'nymi dorogami [Consideration of the ecological state of the territory during the cadastral assessment of lands bordering highways]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Sankt-Peterburg [in Russian].

#### **Author details**

*Aleksander Yu. Melnichuk* – D. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Land Management and Cadastre.

*Ekaterina V. Antonenko* – Assistant, Department of Land Management and Cadastre.

*Yuliya I. Makarishina* – Senior Lecturer, Department of Land Management and Cadastre.

Received 02.04.2025

© *A. Yu. Melnichuk, E. V. Antonenko, Yu. I. Makarishina, 2025*

УДК 528.9:553.9

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-78-88

## Методика анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений

В. С. Сазонов<sup>1</sup>, А. Н. Соловицкий<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация

e-mail: san.mdig@mail.ru

**Аннотация.** Установлено, что получение новой достоверной информации на основе карт о пространственном распределении угольных пластов, количестве и качестве угля определяет эффективность его добычи. Выделена недостаточная освещенность достоверности и сопоставимости геологических материалов на разных стадиях разведки, в том числе из-за точности картографического обеспечения, что свидетельствует о наличии проблемной ситуации. Для ее решения сформулирована цель исследования, которая заключается в разработке методики анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений. На практике реализация предложенной методики обеспечивает рациональное освоение участка недр и эффективность проектных решений. Сделаны выводы о значимости анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений, что немаловажно для обеспечения ее преемственности.

**Ключевые слова:** подсчет запасов, картографические материалы, геологическая оценка, картометрические показатели, угольные месторождения

### Для цитирования:

Сазонов В. С., Соловицкий А. Н. Методика анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 78–88. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-78-88

### Введение

Основные задачи картографического метода исследований актуальны и широко применимы во всех сферах реальной экономики [1–3]. Так, например, в геологии актуальность создания новых карт сомнений не вызывает, как и получение по ним новых знаний о геологических процессах, а также месторождениях полезных ископаемых [4–8]. При этом данные, полученные на основе карт и планов, несут достоверную информацию о пространственном распределении угольных пластов, количестве и качестве угля, что является основой для разработки эффективных схем его добычи и использования [9, 10]. Использование картографических материалов в традиционной технологии подсчета запасов угольных месторождений является неотъемлемой частью картографиче-

ского метода исследования и получения новых знаний для освоения недр [11]. В этом контексте значительный вклад в развитие данной области науки внесли работы следующих ученых: М. И. Агошкова, А. С. Астахова, А. Х. Бенуни, В. А. Букринского, В. С. Веселовского, А. М. Журавлевского, А. Б. Каждана, В. Р. Клера, В. М. Крейтера, А. М. Марголина, М. В. Писаренко, Е. О. Погребницкого, Т. Б. Роговой, П. К. Соболевского, Н. Н. Соловьева, С. В. Шаклеина, М. В. Шумилина и др. [12–14]. Их исследования формируют не только теоретическую базу, но и методологию, которая активно применяется в картографическом обеспечении геологической оценки месторождений.

Авторы проанализированных публикаций подчеркивают многообразие подходов к обобщению данных о запасах угля, а также важ-

ность качественного анализа этих ресурсов и их картографического обеспечения. Например, некоторые исследования [15–20] акцентируют внимание на масштабах запасов, их распределении по территории и качественном составе, что позволяет лучше понять экономическую целесообразность разработки участков недр. Традиционно в методике геологической оценки угольных месторождений уделяется внимание геометризации угольных пластов и оконтуриванию месторождений [21–23]. В работах ряда ученых [24–27] подчеркивается недостаточная освещенность точности подсчета запасов, а также достоверности геологических материалов, в том числе и картографического обеспечения, что является одной из важных задач в горном деле. Таким образом, картографическое обеспечение не только отражает точность подсчетов запасов угля, но и способствует более эффективному управлению ресурсами, что в свою очередь имеет важное значение для устойчивого развития угольной отрасли в целом. Поэтому целью исследования является разработка методики анализа точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений, что включает в себя изучение различных картографических инструментов, таких как графическая точность топографических карт, которые используются для моделирования и оценки запасов угля.

Рассмотрим структурное и кадровое обеспечение геологической оценки угольных месторождений в Кузбассе и ее картографического обеспечения. В настоящее время в регионе работает порядка 20 фирм, которые занимаются геологической оценкой месторождений («Кузбассгипрошахт», «Сибгеопроект», «Недра Кузбасса», «Южно-Кузбасское геологоразведочное управление» («ЮжКузбассГРУ»), «СибНИИУглеобогашение», «Сибирский институт горного дела» и многие другие). При этом подготовка кадров для картографирования территорий была организована в прошлом веке в Кузбасском техникуме архитектуры, геодезии и строительства (КузТА-ГИС) [28]. А подготовка кадров высшей квалификации по геоинформатике и картографии в Кузбассе была организована в Кеме-

ровском государственном университете. Несмотря на значительные достижения в области картографических и геологических исследований и технологий в Кузбассе, авторы работы подчеркивают наличие проблемной ситуации, связанной с недостаточной освещенностью преемственности и сопоставимости результатов традиционных методов подсчета запасов угольных месторождений, которые проведены на разных этапах разведки и на различном картографическом обеспечении. Эта ситуация становится особенно актуальной в свете использования разномасштабных и разновременных карт, учет которых способен значительно повысить достоверность таких оценок.

Важность и востребованность разработки методики анализа точности картографического обеспечения традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений в Кузбассе обусловлена чрезвычайно большим объемом разнородной информации, который мало изучен и слабо обобщен [29]. Таким образом, тема данного исследования обладает высокой актуальностью и представляет интерес как для научного сообщества, так и для практиков в области картографии, геологии и горного дела. В условиях растущего спроса на угольные ресурсы и необходимости их эффективного использования важно разработать методику анализа точности картографического обеспечения при оценке запасов угольных месторождений, что будет способствовать не только экономической эффективности, но и устойчивому развитию отрасли в целом.

### *Методы и материалы*

Анализ точности картографического обеспечения при традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений включает триединую задачу:

- изучение геологических условий;
- установление кондиций и оконтуривания месторождения;
- расчет количественных показателей объемов и запасов.

Представление в конкретной точке геологических условий горного массива пород, а также установление кондиций и контура

месторождения опирается прежде всего на графическую точность используемых карт. В практике проектирования горнодобывающих предприятий широко используется разнообразный картографический материал, графическая точность которого в зависимости от его масштабов приведены на рис. 1.

Картографическое обеспечение характеризуется картометрическими показателями. Их точность при изучении геологических условий, установлении кондиций и оконтуривании месторождения не ограничивается только величинами картографическими погрешностями карт; не менее важную роль играет определение шага сбора и представления соответствующей информации. Для опреде-

ления указанного шага авторы предлагают учесть изменения (производные) параметров геологических условий и установления кондиций. Предлагаемая расчетная величина шага  $dr_i$  представления информации на карте имеет следующий вид [30]:

$$dr_i = \frac{3m_{si}}{\partial P_i / \partial si}, \quad (1)$$

где  $m_{si}$  – средняя квадратическая погрешность точки на карте;

$\partial P_i / \partial si$  – производные параметров (геологических условий и установления кондиций).

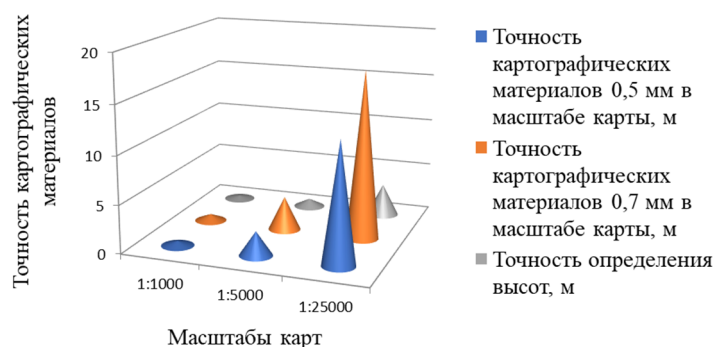


Рис. 1. Графическая точность картографических материалов в зависимости от масштабов

Средняя квадратическая погрешность определения запасов  $m_Q$  в зависимости от точности картографических материалов имеет вид [31]

$$m_Q^2 = \sum_{i=1}^n (m_i^2 m_S^2(k) + S_i^2 m_{\gamma i}^2 + S_i^2 m_H^2(k)), \quad (2)$$

где  $m_i$  – мощность подсчетного блока;

$S_i$  – площадь подсчетного блока;

$m_{\gamma i}$  – средняя квадратическая погреш-

ность определения объемного веса;

$m_S(k)$  – средняя квадратическая погрешность определения площади на картах разных масштабов (см. рис. 1);

$m_H(k)$  – средняя квадратическая погрешность определения высот на картах разных масштабов (см. рис. 1).

Средняя квадратическая погрешность определения запасов в зависимости от точности определения объемного веса имеет следующий вид:

$$m_Q^2 = \sum_{i=1}^n S_i^2 m_{\gamma i}^2. \quad (3)$$

Средняя квадратическая погрешность определения объема  $m_V$  от точности картографических материалов имеет следующий вид:

$$m_V^2 = \sum_{i=1}^n \left( S_i^2 m_H^2(k) + m_i^2 m_S^2(k) \right). \quad (4)$$

Математические зависимости (2)–(4) использованы авторами для оценки и анализа определения запасов в зависимости от точности картографических материалов.

Методика анализа точности картографического обеспечения традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений включает:

- выбор соответствующего масштаба;
- установление точностных характеристик картометрических показателей;
- расчеты точностных показателей объемов и запасов по картометрическим показателям;
- определение изменений (производных) параметров геологических условий и кондиций;
- расчет величины шага представления информации на карте с заданной точностью.

Выполненный анализ картографического обеспечения геологической оценки угольных месторождений позволил выявить следующие его особенности.

1. Отмечено многообразие геологических карт при геологической оценке и проведена их классификация, что свидетельствует о расширении применения картографических знаний в области геологии. Показано, что важным средством познания является тесная связь этих карт со многими геологическими и картографическими методами и обеспечение преемственности разных стадий геологической оценки.

2. Показана тесная связь геологических карт и их основы – топографических карт. Разнообразие и обширность картографического обеспечения подтверждена исследованиями многих авторов: А. М. Берлянта, Т. В. Верещака, А. П. Гука, А. Т. Зверева, Л. К. Зяtkовой, И. Г. Журкина, А. П. Карпика, Ю. Ф. Книжникова, А. В. Комиссарова, Е. Л. Кринова, П. Кронберга, Д. В. Лисицкого, В. А. Малинникова, В. А. Мелкого, О. Н. Николаевой, В. П. Пяткина, В. П. Савиных, В. С. Тикунова, Л. К. Трубиной, Т. А. Хлебниковой, Д. А. Шаповалова, Е. Г. Ширяева,

С. С. Янкелевич, Amani M., Buckley A., Komárek J., Moore N., Teltscher K., Tobler W., Turner W., Wang K. и др. [32].

### Результаты и обсуждение

Для реализации разработанной авторами методики анализа точности картографического обеспечения традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений авторами были проведены исследования картографических материалов на примере шахтного поля шахты «Южная Глубокая» Талдинского каменноугольного месторождения (рис. 2).



Рис. 2. Обзорная схема изучаемого участка

Угленосные отложения в пределах исследуемого участка недр представлены грамотинской свитой ерунаковской подсерии кольчугинской серии верхней перми. Угольная толща на разведанной площади имеет пологое залегание, с углами падения от 7 до 21°. Разведка произведена вертикальными скважинами. В районе работ свита содержит 8 пластов: тонких (до 1,2 м) – 2; средних (1,21–4,50 м) – 4; мощных (более 4,5 м) – 3. К выдержанным относятся 7 пластов из 8. Угленосные отложения перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями мощностью от 0,5–10 до 25–32 м. Отложения представлены суглинками в верхней части и глинами – в нижней части толщи. Участок по сложности геологического строения относится к 1-й группе.

На практике горнодобывающими предприятиями широко используется метод гео-

логических блоков при подсчете запасов угля. При использовании указанного метода определены подсчетные блоки, различающиеся по степени разведанности, мощности угольных пластов, технологическим свойствам, горнотехническим и гидрогеологическим условиям. Подсчетные блоки выделены авторами с учетом принципа однородности пласта по качеству угля, мощности, морфологии и условиям залегания пласта, включая:

- степень изученности параметров и разведанности угля;
- приуроченность к единому структурному элементу;
- выдержанность элементов залегания угольного пласта;
- однородность геологических и горногеологических условий месторождения;
- учет регламентированности требований согласно методическим указаниям и инструкциям;
- наличие разнообразного объема картографических материалов.

Для проведения подсчета запасов углей исследуемое месторождение было разбито на 19 отдельных фигур (подсчетных блоков), средняя мощность которых приведена на рис. 3.

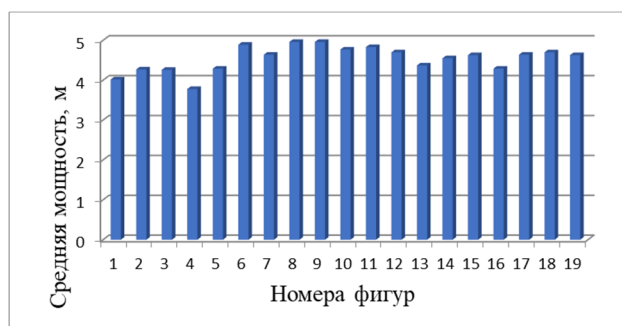


Рис. 3. Средняя мощность отдельных фигур при подсчете запасов

Для проведения анализа авторами выявлены средние квадратические погрешности определения запасов (тонн) и объема (кубических метров) согласно методике (2)–(4) в зависимости от масштаба картографических материалов и определения объемного веса (рис. 4).

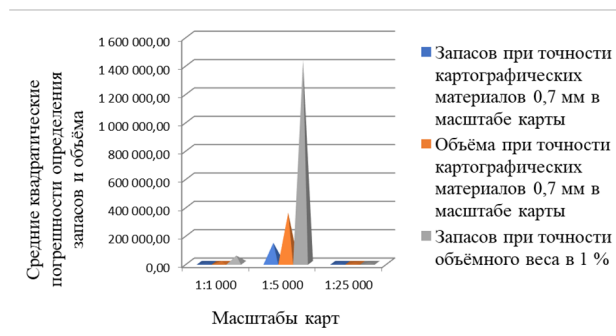


Рис. 4. Средние квадратические погрешности определения и объема (м<sup>3</sup>)

Средняя мощность угля отдельных фигур подсчетных блоков варьировалась от 3,78 до 4,96 м, а их площади – от 25 544 до 190241 м<sup>2</sup>. Подсчет запасов угля был выполнен на основе бурения скважин. Плотность разведочной сети составила 38,4 скважин/км<sup>2</sup>. Расстояние между профилями варьируется в пределах 140–530 м, между скважинами на профилях 15–400 м.

Величина запасов углей согласно выполненным расчетам равна 1 752 312 245 тонн. Расчет величины шага представления информации на карте с заданной точностью выполнен авторами согласно (1) и приведен в таблице.

Расчетные расстояния между точками на карте при условии обеспечения графической точности

Масштаб	Расчетные расстояния между точками на карте при точности картографических материалов 0,5 мм в масштабе карты, м	Расчетные расстояния между точками на карте при точности картографических материалов 0,7 мм в масштабе карты, м
1 : 25 000	340,9	477,3
1 : 10 000	136,2	190,9
1 : 5 000	68,2	95,4
1 : 2 000	27,3	38,2
1 : 1 000	13,6	19,1

В отличие от традиционной методики, величина запасов углей согласно предложениям авторов характеризуется не только количественной характеристикой, но и погрешностью масштаба карты и определения объемного веса. Эта дополнительная информация обеспечивает не только более корректное сопоставление полученного результата с другими, соответствующими разным этапам оценки, но и позволяет перейти от среднего значения между ними к средневесовому.

Выполненный авторами анализ точности картографического обеспечения традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений на примере шахтного поля шахты «Южная Глубокая» Талдинского каменноугольного месторождения свидетельствует о том, что выбор масштаба карты определяет:

- установление точностных характеристик картометрических показателей;
- точностные показатели объема и запасов углей;
- величину шага представления информации на карте.

## Заключение

На основе проведенных исследований были сделаны следующие выводы.

1. Отмечено, что использование картографического обеспечения разных масштабов – это неотъемлемая часть традиционной технологии подсчета запасов угля. Применение указанного картографического обеспечения является расширением использования картографических знаний в геологии, основанных на традиционных принципах создания геологических карт: вещественном, структурном, историческом.

2. Установлена информационная функция геологических карт в рамках предложенной авторами классификации и возможность расширения ее использования на основе точностных характеристик моделей.

3. Методика анализа точности картографического обеспечения традиционной технологии геологической оценки угольных месторождений является многоаспектной и определяет зависимости установления точностных характеристик картометрических показателей, объема и запасов углей и величины шага представления информации на карте от выбора ее масштаба, обеспечивая преемственность и сопоставимость разных ее стадий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Исследование мировых трендов и обоснование направлений развития сферы геодезии и картографии РФ до 2030 года // Геопрофи. – 2021. – № 1. – С. 4–11.
2. 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.
3. Захаров М. С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии. – М. : Лань, 2017. – 435 с.
4. Пруцкий Н. И., Январев Г. С. Геологическое картирование. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2006. – 164 с.
5. Бурдэ А. И., Стрельников С. И., Межеловский Н. В. Три века геологической картографии России. – М., СПб. : 2000. – 439 с.
6. Петров О. В., Вербицкий В. Р., Киселев Е. А., Путинцев В. К., Кротова-Путинцева А. Е. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (история создания, итоги и задачи работ) . – СПб. : ВСЕГЕИ, 2007. – 79 с.
7. Жумаханкызы Н., Нурпеисова М. Б. Методика создания геологических карт // Труды Международной научно-практической конференции, посвященной 115-летию академика А. Ж. Машанова «Инновационные технологии в геопространственной цифровой инженерии» 18–19 марта 2022 г. – Алматы : КазНУ им. К. И. Сатпаева, 2022. – С. 84–91.
8. Nurpeisova M. B., Bitimbayev M. Zh., Rysbekov K. B., Shults R. Geodetic substantiation of the Saryarka copper ore region // News of the National Academy of Sciences of the Republic of

Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences. – 2020. – Vol. 6. – P. 194–202. – DOI 10.32014/2020.2518–170X.147.

9. Жуковский Ю. Л., Ишейский В. А., Булдыско А. Д., Гоцул Ю. Д. Роль цифровых технологий в комплексном освоении месторождений твердых полезных ископаемых // Научные междисциплинарные исследования. – 2020. – № 7. – С. 14–19.

10. Баранов Ю. Б., Грушин Р. В. Геоинформационные технологии в геологии и недропользовании // Геопрофи. – 2006. – № 2. – С. 4–7.

11. Сендерзон Э. М. Методика разведки угольных месторождений Кузбасса. – Кемерово : Кемер. кн. изд-во, 1978. – 235 с.

12. Букринский В. А. Геометрия недр. – М. : МГТУ, 2002. – 549 с.

13. Сазонов В. С. О развитии методологической основы геологической оценки угольных месторождений Кузбасса // Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о Земле: теоретические и прикладные аспекты : материалы симпозиума XIX (LI) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 23 апреля 2024 г. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2024. – С. 203–208.

14. Шаклеин С. В., Рогова Т. Б., Писаренко М. В. О неопределенности (достоверности) геологических материалов, обеспечивающей реализуемость проекта освоения угольного месторождения // Рациональное освоение недр. – 2022. – № 3. – С. 26–37. – DOI 10.26121/RON.2022.16.62.002.

15. Рогова Т. Б., Шаклеин С. В., Ярков В. О. Подсчет запасов угольных месторождений. – Кемерово, 2010. – 112 с.

16. Шек В. М., Никулина Ю. В. Интегральный подход подсчета угольных запасов (сравнение с методом С. В. Шаклеина) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № S6. – С. 341–345.

17. Писаренко М. В. Методическое сопровождение комплексной оценки подготовленности угольных месторождений к рациональному промышленному освоению // Рациональное освоение недр. – 2019. – (4). – С. 26–31. – DOI 10.1088/10.26121/ RON.2019.62.28.002.

18. Писаренко М. В. Горно-геометрическое обеспечение оценки достаточности геологической изученности угольного месторождения // Маркшейдерский вестник. – 2016. – № 4. – С. 6–8.

19. Писаренко М. В., Шаклеин С. В. Подход к созданию систем многоуровневых горно-геометрических моделей угольных месторождений // Маркшейдерия и недропользование. – 2010. – № 5. – С. 38–41.

20. Писаренко М. В., Шаклеин С. В. Обоснование степени изученности месторождения // Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования : материалы IX Международной науч.-практ. конф., 20 декабря 2010 г. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2011. – С. 209–215.

21. Власьевский Л. П. О достоверности геометризации месторождений полезных ископаемых по данным опробования // Маркшейдерский вестник. – 2004. – № 2. – С. 57–62.

22. Кушнарев П. И., Бабина Т. О. Влияние точности анализа на результаты оконтуривания рудных тел // Недропользование XXI век. – 2015. – № 5 (55). – С. 86–95.

23. Сессорова Е. Н. Влияние погрешности оконтуривания на точность подсчета запасов полезного ископаемого // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 7. – С. 70–72.

24. Rendu J.-M. Risk management in Evaluating Mineral Deposits. Englewood: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. – 2017. – 310 p.

25. Рогова Т. Б., Шаклеин С. В. Достоверность запасов угольных месторождений. Количественная оценка и мониторинг. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. – 2011. – 508 с.

26. Шаклеин С. В., Рогова Т. Б., Писаренко М. В. О неопределенности (достоверности) геологических материалов, обеспечивающей реализуемость проекта освоения угольного месторождения. Рациональное освоение недр. – 2022. – № 3. – С. 26–37. – <https://doi.org/10.26121/RON.2022.16.62.002>.
27. Pisarenko M. V., Shaklein S. V. Recommendations on integrated evaluation of preparedness of coal deposits for mining. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – 262 (1). – 012067. – DOI 10.1088/1755-1315/262/1/012067.
28. Писаренко М. В., Рогова Т. Б., Шаклеин С. В. Учет неопределенности интерпретации данных при компьютерном построении горно-геометрических моделей угольных месторождений // Маркшейдерский вестник. – 2018. – № 5. – С. 19–26.
29. Федотов Г. С., Январев Г. С. Объемное цифровое моделирование геологических тел в процессе разведки : учебное пособие. – М. : Горная книга, 2021. – 168 с.
30. Соловицкий А. Н. Геодинамический анализ : монография. – Кемерово : КузГТУ, 2001. – 158 с.
31. Соловицкий А. Н., Сазонов В. С. О математическом обеспечении геологической оценки угольных месторождений // Сборник статей XXXVII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки и образования». – Пенза : Наука и Просвещение. – 2024. – С. 191–194.
32. Лисицкий Д. В., Кацко С. Ю. Назначение и особенности цифрового картографического изображения в геоинформационном картографировании // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр. : сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск : СГГА, 2005. Т. 4, ч. 1. – С. 22–28.

### Об авторах

*Валентин Сергеевич Сазонов* – аспирант кафедры геологии и географии.

*Александр Николаевич Соловицкий* – доктор технических наук, профессор кафедры геологии и географии.

Получено 13.03.2025

© В. С. Сазонов, А. Н. Соловицкий, 2025

### Evaluating cartographic accuracy in conventional geological assessment of coal deposits

*V. S. Sazonov<sup>1</sup>, A. N. Solovitsky<sup>1</sup>✉*

<sup>1</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

e-mail: san.mdig@mail.ru

**Abstract.** The study addresses the problem of insufficient reliability and comparability of geological data during different stages of coal deposit exploration, largely influenced by the accuracy of cartographic support. To overcome this, a methodology for analyzing cartographic accuracy within traditional geological assessment practices was developed. Its application ensures more rational use of open-pit mine and subsurface resources and enhances the effectiveness of design solutions. The findings highlight the significance of cartographic accuracy analysis as a key factor in maintaining continuity and reliability in the geological evaluation of coal deposits.

**Keywords:** reserves calculation, cartographic materials, geological assessment, cartometric indicators, coal deposits

## REFERENCES

1. Karpik A. P., Lisitsky D. V. (2021) Research of world trends and substantiation of the directions of development sphere of geodesy and cartography Russian Federation 2030 *Geoprofi [Geoprofi]*, 1, 4–11. ISSN 2306-8736 [in Russian].
2. Yankelevich S. S. (2024). Modern concept and methodology of cartography *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 29(3), 118–125. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-118-125 [in Russian].
3. Zakharov M. S. (2017). *Kartografisheckyy metod i geinformatsionnyye sistemy v inzhenernoy geology [Cartographic method and geoinformation systems in engineering geology]*. Moscow: Lan Publ., 435 p. [in Russian].
4. Prutsky N. I., Janvarev G. S. (2006). *Geologisheckoe kartirovanie [Geological mapping]*. Novocherkassk: YURSTU Publ., 164 p. [in Russian].
5. Burde A. I., Strelnikov S. I., Mezhelovsky N. V. (2000). *Tti veka geologisheckoy kartografii Rossii [Three centuries of geological cartography of Russia]*. Moscow: SPb Publ., 439 p. [in Russian].
6. Petrov O. V., Verbitsky V. R., Kiselev E. A., Putintsev V. K. & Krotova-Putintseva A. E. (2007). *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (istoriya sozdaniya, itogi i zadachi rabot) [State geological map of the Russian Federation scale 1:1 000 000 (history of creation, results and tasks of work)]*. St. Petersburg: VSEGEI Publ., 79 p. [in Russian].
7. Zhumakhankyzy N., Nurpeisova M. B. (2022). Methods of creating geological maps. In *Sbornik nauchnykh trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 115-letiyu akademika A. ZH. Mashanova «Innovatsionnyye tekhnologii v geoprostranstvennoy tsifrovoy inzhenerii» [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated 115-letiyu anniversary of Academician A. Zh. Mashanov «Innovative technologies in geospatial digital engineering»]*. (pp. 84–91). Almaty: KazNTU imeni K. I. Satpayev Publ. [in Russian].
8. Nurpeisova M. B., Bitimbayev M. Zh., Rysbekov K. B. & Shults R. (2020). Geodetic substantiation of the Saryarka copper ore region. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences*, 6, 194–202.
9. Zhukovsky Yu. L., Isheisky V. A., Buldysko A. D. & Gotsul Yu. D. (2020). The role of digital technologies in the integrated development of solid mineral deposits. In *Sbornik nauchnykh statey po materialam VII nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: Nauchny megdistsiplinaryny issledovaniy [Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. "Digital Science"]* (pp.14–19). Saratov: Scientific public organization digital science Publ. [in Russian].
10. Baranov Yu. B., Grushin R. V. (2006) Geoinformation technologies in geology and subsoil use. *Geoprofi [Geoprofi]*, 2, 4–7 [in Russian].
11. Senderzon E. M. (1978). *Metodika razvedki ugolinykh mestorogdeniy [Methods of exploration of coal deposits in Kuzbass]*. Kemerovo: Kemer Publ., 235 p. [in Russian].
12. Bukrinsky V. A. (2002). *Geometriya nedr [Geometry of the subsoil]*. Moscow: MSTU Publ., 549 p. [in Russian].
13. Sazonov V. S. (2024, April 23). On the development of the methodological basis of the geological assessment of Kuzbass coal deposits. In *Sbornik interdisciplinary approaches in biology, medicine and Earth Sciences: theoretical and applied aspects: Proceedings of the Symposium of the XIX (LI) [Proceedings of the XIX International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists]* (pp. 203–208). Kemerovo: Kemerovo State University Publ. [in Russian].
14. Shaklein S. V., Rogova T. B., Pisarenko M. V. (2022). On the uncertainty (reliability) of geological materials ensuring the feasibility of a coal deposit development project *Ratsional'noye osvoyeniye nedr [Rational development of subsoil resources]*, 3, 26–37. DOI 10.26121/RON.2022.16.62.002 [in Russian].
15. Rogova T. B., Shaklein S. V., Yarkov V. O. (2010). *Podshet zapasov ugolinykh mestorogdeniy [Calculation of coal deposits]*. Kemerovo: KuzGTU Publ., 112 p. [in Russian].

16. Shek V. M., Nikulina Yu. V. (2011). An integral approach to calculating coal reserves (comparison with the method of S. V. Shaklein) *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information and Analytical Bulletin], S6, 341–345. EDN ONOJZJ [in Russian].
17. Pisarenko M. V. (2019). Methodological support for a comprehensive assessment of the preparedness of coal deposits for rational industrial development *Ratsional'noye osvoyeniye nedr* [Rational development of subsoil resources], (4), 26–31. DOI 10.26121/RON.2019.62.28.002 [in Russian].
18. Pisarenko M. V. (2016). Mining and geometric support for assessing the sufficiency of geological exploration of a coal deposit *Marksheyderskiy vestnik* [Mine Surveyor's Bulletin], 4, 6–8. EDN WJVG0H [in Russian].
19. Pisarenko M. V., Shaklein S. V. (2010). An approach to creating systems of multilevel mining and geometric models of coal deposits *Marksheyderiya i nedropol'zovaniye* [Mine surveying and subsoil use], 5, 38–41. EDN: MVZAGP [in Russian].
20. Pisarenko M. V., Shaklein S. V. (2011). Substantiation of the degree of exploration of the deposit *In Sbornik po materialam IX nauchno-prakhnicheskoy konferentsii problem geologii, planetologii, geoekologii i ratsional'novo nedropolizovania* [Problems of geology, planetology, geocology and rational use of Natural resources: proceedings of the IX International Scientific Conference. Practical conference] (pp. 209–215). Novocherkassk: YURGTU Publ. [in Russian].
21. Vlasyevsky L. P. (2004). On the reliability of geometrization of mineral deposits according to testing data *Marksheyderskiy vestnik* [Mine Surveyor's Bulletin], 2, 57–62. EDN: JWZAZX [in Russian].
22. Kushnarev P. I., Babina T. O. (2015). The influence of the accuracy of the analysis on the results of contouring of ore bodies *Nedropol'zovaniye XXI vek* [Subsoil use XXI century], 5(55), 86–95. EDN: UMTLHZ [in Russian].
23. Sessorova E. N. (2005). The influence of delineation error on the accuracy of calculating mineral reserves *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information and Analytical Bulletin], 7, 70–72. EDN IYXMT [in Russian].
24. Rendu J.-M. (2017). *Risk management in Evaluating Mineral Deposits*. Englewood: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 310 p.
25. Rogova T. B., Shaklein S.V. (2011). *Dostovernost' zapasov ugol'nykh mestorozhdeniy. Kolichestvennaya otsenka i monitoring* [Reliability of coal deposits. Quantitative assessment and monitoring]. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publ. GmbH and Co. KG. 508 p. [in Russian].
26. Shaklein S. V., Rogova T. B., Pisarenko M. V. (2022). On the uncertainty (reliability) of geological materials ensuring the feasibility of a coal field development project. *Ratsional'noye osvoyeniye nedr* [Rational development of subsoil resources], 3, 26–37. DOI 10.26121/RON.2022.16.62.002 [in Russian].
27. Pisarenko M. V., Shaklein S. V. (2019). Recommendations on integrated evaluation of preparedness of coal deposits for mining. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 262. Novosibirsk: Institute of Physics Publ., p. 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/262/1/012067>.
28. Pisarenko M. V., Rogova T. B., Shaklein S. V. (2018). Accounting for the uncertainty of data interpretation in the computer construction of mining and geometric models of coal deposits *Marksheyderskiy vestnik* [Mine Surveyor's Bulletin], 5, 19–26. EDN: BFRODA [in Russian].
29. Fedotov G. S., Janvarev G. S. (2021). *Obiymnoe tsifrovoe modelirovanie geologicheskix tel v protsesy razvedki* [Volumetric digital modeling of geological bodies in the exploration process]. Moscow: Gornaya Kniga Publ., 168 p. [in Russian].
30. Solovitsky A. N. (2001). *Geodynamic analysis* [Geodinamik analiz]. Kemerovo: KuzSTU Publ., 158 p. [in Russian].
31. Solovitsky A. N., Sazonov V. S. (2024). On mathematical support for the geological assessment of coal deposits. *In Sbornik nauchnykh statey po materialam XXXVII nauchno-prakhticheskoy*

*konferentsii Aktualnie voprosy sovremenoy nauki i obrazovaniya [Proceedings of the XXXVII International Scientific and Practical Conference Topical issues of modern science and education]* (pp. 191-194). Penza: ICNS Science and Education Publ. [in Russian].

32. Lisitsky D. V., Katsko S. Y. (2005). Purpose and features of digital cartographic images in geoinformation mapping *Geo-Sibir' [Geo-Siberia]*, 4, 22–28. EDN: PUJBNL [in Russian].

#### **Author details**

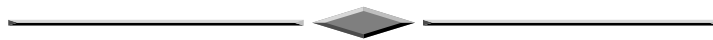
*Valentin S. Sazonov* – PhD Student, Department of Geology and Geography.

*Aleksandr N. Solovitskiy* – D. Sc., Professor, Department of Geology and Geography.

Received 13.03.2025

© *V. S. Sazonov, A. N. Solovitskiy, 2025*

# ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ



УДК 528.44:528.721.221.6  
DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-89-100

## Методика построения оптимального маршрута при проведении работ по сканированию территории

*Д. А. Гура<sup>1, 2</sup>, Р. А. Дьяченко<sup>1</sup>, С. А. Ярутин<sup>1</sup>, А. С. Макарян<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Кубанский государственный технологический университет,  
г. Краснодар, Российская Федерация

<sup>2</sup>Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Российская Федерация  
e-mail: gda-kuban@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлена методика оптимального обхода участка с использованием наземного лазерного сканера, реализованная на основе модифицированного алгоритма Кристофидеса и модели целочисленного линейного программирования (ILP). Предлагаемый подход решает NP-трудную задачу, сводимую к модифицированной версии задачи коммивояжера, с учетом дополнительных геометрических ограничений, обусловленных наличием препятствий на территории. Методика включает дискретизацию участка, генерацию облаков точек вокруг вершин препятствий и построение графа допустимых позиций сканирования. Экспериментальная проверка на синтетических и реальных данных показала, что предложенный алгоритм позволяет снизить количество необходимых сканирующих окружностей и суммарную длину маршрута обхода на 12–18 % по сравнению с традиционными эвристическими подходами, при сохранении полного покрытия границы. Кроме того, проведенный сравнительный анализ выявил, что, несмотря на возрастание вычислительной сложности ILP-модели с увеличением числа препятствий, предложенная методика обладает высокой точностью и применима в задачах геодезии, кадастра, картографии и инженерной диагностики. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются динамическая адаптация маршрута и интеграция гибридных методов оптимизации для повышения масштабируемости решения.

**Ключевые слова:** кадастр, лазерное сканирование, маршрут, алгоритм Кристофидеса, оптимизация, NP-трудная задача

### Для цитирования:

*Гура Д. А., Дьяченко Р. А., Ярутин С. А., Макарян А. С.* Методика построения оптимального маршрута при проведении работ по сканированию территории // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 89-100. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-89-100

### Введение

Современные задачи трехмерной идентификации территориальных объектов требуют высокой точности геодезических и картографических работ, особенно в условиях плотной

застройки и наличия природных барьеров [1, 2]. Одной из ключевых проблем является обеспечение полного и равномерного покрытия исследуемой территории с использованием информации о диапазоне измерения расстояний наземным лазерным сканером (далее – радиус

сканирования). Каждая скан-позиция при этом формирует область обзора в виде круга, радиус которого соответствует максимальной дальности измерений данного прибора, что позволяет учитывать аппаратные ограничения и влияние препятствий, блокирующих прямую видимость между точками съемки. Достижение высокого уровня дискретности сканирования при минимизации «пустых» зон на поверхности объекта является критически важным условием для последующей надежной трехмерной идентификации и моделирования объектов недвижимости.

В существующих исследованиях обход территории при лазерном сканировании обычно реализуется через эвристические алгоритмы решения задачи коммивояжера (TSP) [3, 4]. При этом в ряде работ предложены более специализированные подходы к размещению скан-позиций, учитывающие взаимную видимость, геометрические и топологические характеристики объектов [5, 6]. Так, в диссертации Ш. Х. Мухаммада [7] разработан метод анализа зон перекрытия видимости и геодезических параметров, позволяющий сокращать количество точек съемки на 15–20 %. Тем не менее эмпирические испытания демонстрируют, что классические TSP-эвристики порождают до 30–35 % избыточных скан-позиций, что приводит к увеличению времени съемки на 20–25 % и росту материальных затрат до 15–20 %. Кроме того, присутствие препятствий в пространстве сканирования еще более снижает эффективность традиционных методов из-за необходимости введения дополнительных ограничений в модель маршрутизации.

Цель настоящего исследования заключается в разработке эффективной методики обхода границы участка, основанной на модифицированном алгоритме Кристофидеса для решения задачи TSP с учетом сканирующих радиусов наземного лазерного сканера. Данный подход позволяет оптимизировать маршрут обхода, минимизировать количество необходимых сканирующих зон и обеспечить максимально возможное покрытие территории, что критически важно для повышения точности 3D-идентификации объектов [8, 9].

Экономическое обоснование исследования связано с потенциалом значительного сокращения затрат времени и ресурсов, требуемых для проведения полевых работ. Оптимизация маршрутов сканирования позволяет снизить эксплуатационные расходы организаций, профессионально занимающихся наземным лазерным сканированием, за счет уменьшения числа необходимых станций стояния прибора и сокращения времени работы на объекте. Это приводит к повышению эффективности проектов в области архитектурных обмеров, гражданского строительства, управления городским хозяйством и многих других отраслей, использующих облака точек как информационную основу объектов в пространстве [10].

## **Материалы и методы**

### **2.1. Формализация задачи.**

Задача оптимального обхода границы участка наземным лазерным сканером формулируется как модифицированная версия задачи коммивояжера (TSP) с дополнительными геометрическими и логистическими ограничениями. Дано множество точек вдоль границы участка, представляющих возможные позиции сканирования, а также набор препятствий, ограничивающих доступные зоны размещения сканирующих позиций. Требуется определить маршрут, минимизирующий общее расстояние обхода при условии полного покрытия границы участка окружностями фиксированного радиуса.

Задача оптимального обхода границы участка с учетом препятствий и покрытия окружностями фиксированного радиуса является NP-сложной. Это следует из того, что она представляет собой модификацию задачи коммивояжера (TSP), которая принадлежит классу NP-сложной задачи оптимизации [11]. Включение дополнительных ограничений, таких как необходимость полного покрытия границы участка, учет препятствий и оптимизация размещения сканирующих позиций, лишь усложняет задачу, переводя ее в категорию комбинированных NP-сложных проблем [12].

Формально даже упрощенная версия задачи без препятствий сводится к дискретной оптимизации на графах, а ее полная версия

требует решения целочисленного линейного программирования (ILP), которое известно своей вычислительной сложностью. Более того, добавление условий на покрытие окружностями эквивалентно задаче дискретного покрытия множества, которая также принадлежит к классу NP-сложных задач.

Следовательно, для решения задачи на практике необходимо использовать либо эвристические алгоритмы, либо приближенные методы оптимизации, такие как модифицированный алгоритм Кристофидеса, который позволяет получить решение с гарантированной оценкой качества [13].

## 2.2. Определение входных данных.

Входными данными являются множества:

$$\langle P, O, R, G(V, E) \rangle - \quad (1)$$

где  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – множество опорных точек границы участка, подлежащих сканированию;

$O = \{o_1, o_2, \dots, o_m\}$  – множество препятствий, моделируемых в виде ограниченных полигонов;

$R$  – фиксированный радиус окружности, соответствующий области охвата лазерного сканера;

$G(V, E)$  – взвешенный граф возможных перемещений сканера, где  $V$  – множество вершин, соответствующих допустимым позициям сканирования, а  $E$  – ребра, задающие возможные пути перемещения с весами, соответствующими расстоянию между точками.

## 2.3. Ограничения на построение маршрута.

Оптимизация маршрута сканирования осуществляется с учетом следующих ограничений.

1. Полное покрытие границы участка, где каждая точка  $p_i \in P$  должна быть охвачена хотя бы одной сканирующей окружностью радиуса  $R$ .

2. Обход препятствий, где центры сканирующих окружностей  $\vartheta_i \in V$  не могут располагаться внутри области препятствий  $O$ .

3. Минимизация расстояния обхода, где суммарная длина маршрута, заданного как

путь в графе  $G(V, E)$ , должна быть минимальной.

4. Сохранение связности маршрута, где решение должно представлять собой единственный связный цикл, обеспечивающий непрерывность перемещения сканера по доступным точкам.

## 2.4. Используемые алгоритмы.

Для решения задачи обхода участка с учетом пространственных ограничений используется модифицированный алгоритм Кристофидеса для задачи коммивояжера. Стандартный алгоритм обеспечивает аппроксимационное решение с отношением  $\frac{3}{2}$  к оптимальному, если для графа  $G=(V, E)$ , где  $V$  – множество вершин, а  $E$  – множество ребер с функцией расстояния  $d: E \rightarrow \mathbb{R}^+$ , последовательно выполняются следующие операции.

Первым этапом строится минимальное остовное дерево  $T \subseteq G$  с суммарным весом  $\omega(T)$ .

Вторым этапом определяется совершенное паросочетание  $M$  для множества вершин  $V_0 \subset V$  с нечетной степенью в  $T$ , что приводит к объединению  $T \cup M$  в эйлеров граф.

Из этого графа извлекается эйлеров цикл  $C_E$ , который после процедуры сокращения повторяющихся вершин преобразуется в гамильтонов цикл  $C_H$ , удовлетворяющий неравенству

$$\omega(C_H) \leq \frac{3}{2} \cdot OPT, \quad (2)$$

где  $OPT$  обозначает вес оптимального цикла.

В рамках модификации для задачи обхода границы участка вводится ограничение на допустимое множество позиций, обозначаемое как  $V' \subset V$ , где

$$V' = \{\vartheta \in V \mid \vartheta \notin O\}, \quad (3)$$

в котором  $O$  представляет совокупность областей, соответствующих препятствиям.

При построении графа  $G'=(V', E')$  веса ребер корректируются с учетом простран-

ственных ограничений посредством функции

$$d'(\vartheta, v) = d(\vartheta, v) + \alpha \cdot \delta(\vartheta, v), \quad (4)$$

где  $\delta(\vartheta, v)$  – штрафное расстояние, отражающее влияние препятствий;

$\alpha$  – эмпирически подобранный коэффициент.

Следующим шагом, после построения исходных множеств, является построение минимального остовного дерева  $T'$  для  $G'$ .

Алгоритм определяет совершенное паросочетание  $M'$  для множества вершин  $V_o' \subset V'$  с нечетной степенью в  $T'$ . Объединение  $T' \cup M'$  формирует эйлеров граф, из которого извлекается эйлеров цикл  $C_E'$ .

После применения процедуры сокращения повторяющихся вершин получается гамильтонов цикл  $C_H'$ , удовлетворяющий условию покрытия: для каждой точки  $p$  границы участка существует такая точка  $v \in C_H'$ , что

$$\|p - v\| \leq R, \quad (5)$$

где  $R$  – фиксированный радиус сканирования, определяющий зону охвата лазерного сканера.

Для учета препятствий при построении маршрута обхода границы участка предлагается генерация облака точек вокруг каждой вершины препятствия. Это позволяет детализировать геометрию ограничений и адаптировать путь обхода с учетом реальных условий местности.

Множество препятствий, обозначаемое как  $O = \{O_1, O_2, \dots, O_m\}$ , где каждое препятствие  $O_i$  представляется в виде множества вершин  $V_i \subset R^2$ . Для каждой вершины  $v \in V_i$  генерируется облако точек

$$P(v) = \{p_j \mid p_j \in \mathbb{R}^2, \|p_j - v\| \leq \rho\}, \quad (6)$$

где  $\rho$  – радиус локального распределения точек, отражающий геометрические особенности препятствия.

На основе сгенерированного облака точек формируется дополнительный граф

$$G_p = (V_p, E_p), \text{ где } V_p = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{v \in V_i} P(v). \text{ Связи}$$

между вершинами  $p_j \in V_p$  определяются по критерию

$$(p_j, p_k) \in E_p \Leftrightarrow \|p_j - p_k\| \leq d_{\max}, \quad (7)$$

где  $d_{\max}$  – допустимое расстояние для построения ребер.

После проведения процедуры генерации облака точек выполняется интеграция  $G_p$  в основной граф  $G'$ , что позволяет учитывать детали геометрии препятствий при построении маршрута. Для адаптации алгоритма Кристофидеса вводится корректировка функции расстояния

$$d''(\vartheta, v) = d'(\vartheta, v) + \beta \sum_{p_j \in P(u)} \omega(p_j), \quad (8)$$

где  $\omega(p_j)$  – вес точки облака, определяющий ее значимость при обходе препятствия, а  $\beta$  – регулирующий коэффициент.

На основе модифицированного алгоритма Кристофидеса строится маршрут, который проходит по вершинам границы участка, исключая попадание в запрещенные зоны и обеспечивая эффективный обход препятствий.

Следующим шагом после построения остовного дерева по модифицированному алгоритму Кристофидеса является оптимизация расстановки точек обхода участка.

Это осуществляется в виде решения задачи целочисленного линейного программирования (ILP). Задача включает в себя определение позиций сканирования, обеспечение полного покрытия границы участка и минимизацию суммарного пути обхода при наличии препятствий.

Введем обозначения:

$$x_i \in \{0, 1\} \text{ – бинарная переменная, равная}$$

1, если точка  $s_i$  выбрана в качестве позиции сканирования, и 0 в противном случае;

$y_{ij} \in \{0,1\}$  – бинарная переменная, равная 1, если путь проходит между точками  $s_i$  и  $s_j$ ;  
 $d_{ij}$  – расстояние между точками  $s_i$  и  $s_j$ .

Необходимо минимизировать общую длину маршрута обхода:

$$\min \sum_i \sum_{j \neq i} d_{ij} y_{ij}. \quad (9)$$

Каждая точка  $p$  на границе участка  $\Omega$  должна быть покрыта хотя бы одной окружностью радиуса  $r$ :

$$\forall p \in \Omega, \sum_i x_i \cdot \mathbb{I}(\|p - s_i\| \leq r) \geq 1 \quad (10)$$

Позиции сканирования  $s_i$  не могут пересекаться с препятствиями  $O$ :

$$\forall s_i \in S, s_i \notin O. \quad (11)$$

Каждая выбранная точка сканирования должна быть посещена ровно один раз:

$$\sum_{j \neq i} y_{ij} = x_i, \quad \forall i. \quad (12)$$

$$\sum_{i \neq j} y_{ij} = x_j, \quad \forall j. \quad (13)$$

Вводятся вспомогательные переменные  $u_i$  для предотвращения образования подциклов:

$$u_i - u_j + |S| y_{ij} \leq |S| - 1, \quad \forall i \neq j, i, j \neq 1. \quad (14)$$

Таким образом, предложенная ILP-модель позволяет оптимизировать размещение точек сканирования с учетом препятствий и минимизации общей длины маршрута обхода.

### 2.5. Программная реализация.

Для реализации предложенной методики разработана программная система, реализованная на языке Python, которая объединяет обработку геометрических данных, оптимизацию маршрута и визуализацию результатов. Основой системы служат библиотеки Shapely, PuLP, NetworkX и Matplotlib.

Ниже приведена диаграмма `idf0`, иллюстрирующая функциональную структуру

алгоритма, а также соответствующее описание (рис. 1).

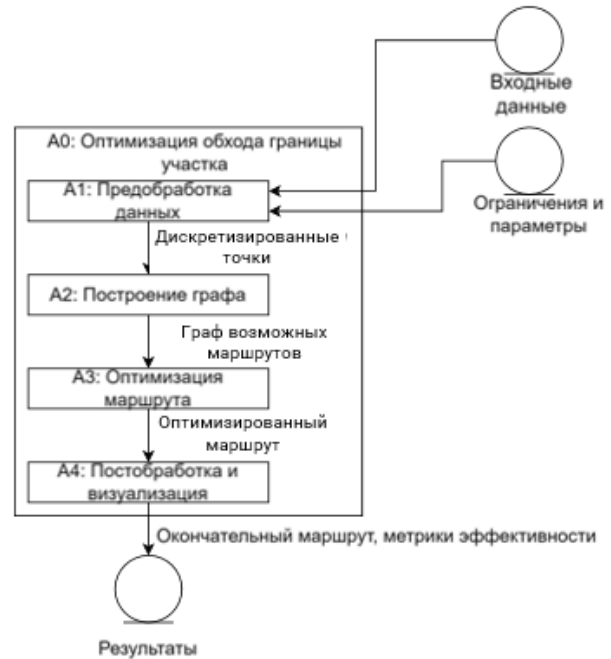


Рис. 1. Диаграмма функциональной структуры алгоритма

Входными данными являются полигон, задающий границы участка, полигоны-препятствия, фиксированный радиус сканирования  $r$  и разрешенные зоны для размещения сканирующих позиций (рис. 2).

На рис. 2 также приведена условная визуализация: красные точки соответствуют углам зданий, зеленые – позициям стояния сканера.



Рис. 2. Нанесение начальных параметров на карту

Предобработка включает дискретизацию границы участка с выбором точек с шагом  $d$ , обеспечивающим полное покрытие, а также генерацию облаков точек для каждой вершины препятствия с целью детальной аппроксимации геометрии ограничений.

После этапа предобработки формируется граф  $G = (S, E)$ , где  $S$  – множество допустимых позиций сканирования, а  $E$  – ребра, определяемые евклидовыми расстояниями между точками. В этот граф интегрируются дополнительные вершины, полученные из облаков точек, что позволяет учесть влияние препятствий на маршрут обхода.

Окончательный оптимизированный маршрут визуализируется с помощью Matplotlib, что позволяет наглядно оценить расположение сканирующих позиций, траекторию обхода и влияние препятствий. Полученные результаты демонстрируют возможность существенного сокращения времени сканирования и снижения материальных затрат за счет оптимизации маршрута и уменьшения числа необходимых станций для сканирования.

### Результаты и их обсуждение

В рамках исследования была разработана программная система на языке Python, включающая модули для обработки данных, построения геометрических моделей исследуемой области, дискретизации пространства возможных позиций установки лазерного сканера и оптимизации размещения точек измерений методом целочисленного линейного программирования (ILP).

Экспериментальные измерения проводились в двух различных средах: городской застройке и лесной местности [14]. На примере застройки города Барселона (Испания), представленной на рис. 3, были выполнены измерения на участках, имеющих различную площадь [15]. Каждый участок имел одинаковую плотность застройки, что позволило исследовать влияние городской инфраструктуры на оптимальное распределение точек установки лазерного сканера.

На рис. 3, 4 приведена условная визуализация: красные точки обозначают углы зданий (в городской среде) или вершины препят-

ствий (в лесной среде), зеленые точки – позиции установки сканера, окружности – радиусы сканирования, соответствующие максимальной дальности измерений.

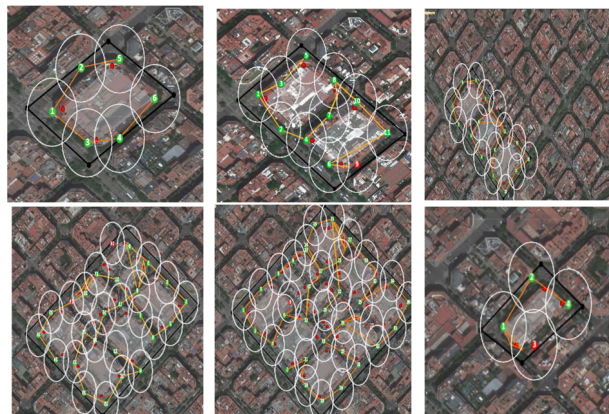


Рис. 3. Результаты эксперимента в городской местности

На примере участка, находящегося в Тюменской области (Россия), как показано на рис. 4, измерения были проведены в лесной местности. Здесь участки также имели идентичную плотность препятствий, но в отличие от городской среды, на этих участках отсутствовала застройка и пространство было более открытым, что позволило изучить влияние природных факторов, таких как рельеф и растительность, на результат тестов. Для каждой среды было выполнено по шесть тестов, что обеспечило репрезентативность данных для анализа [16, 17].

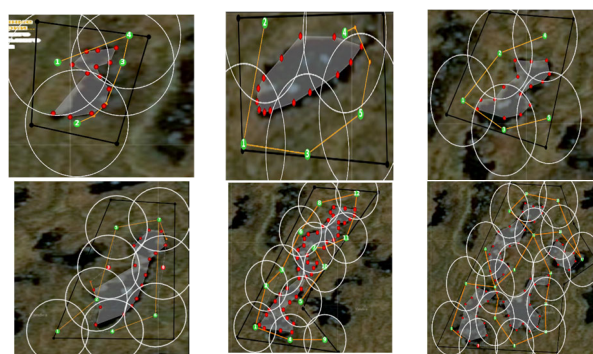


Рис. 4. Результаты эксперимента в лесной местности

В каждом эксперименте фиксировался радиус действия сканера и плотность препят-

ствий (здания и строения, водоемы и другие объекты, влияющие на конфигурацию покрытия). В базовом случае (отсутствие препятствий) формировался равномерный набор точек размещения, тогда как в сложных сценариях (с наличием препятствий) оптимизация позволяла минимизировать число необходимых установок [18, 19].

В табл. 1 приведены результаты вычислений для различных участков в городской среде.

Таблица 1

Результаты вычислений для различных участков в городской среде

Изменения	Найденное количество окружностей	Длина маршрута (м)	Время расчета (с)
A	6	483,31	0,35
B	11	1 007,95	2,91
C	16	1 804,68	8,26
D	26	2 849,37	115,06
E	36	4 059,16	3 423,07
F	4	353,04	0,30

Анализ полученных данных показывает, что при увеличении площади участка происходит нелинейное увеличение длины маршрута. Время вычислений существенно возрастает в сложных случаях (измерения *D* и *E*), что обусловлено увеличением количества окружностей и необходимостью решения более сложной оптимизационной задачи [20, 21].

Исследование показало, что увеличение количества окружностей приводит к росту суммарной длины пути, однако оптимальные значения достигаются при сбалансированном распределении точек сканирования.

Результаты измерений в лесной среде представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений в лесной среде

Изменения	Найденное количество окружностей	Длина маршрута (м)	Время расчета (с)
A	4	211,69	0,14
B	5	360,99	0,29
C	5	451,75	0,51
D	8	743,56	0,78
E	12	1 031,97	0,92
F	17	1 738,94	17,78

При анализе результатов в лесной среде важно учитывать влияние плотности растительности на размещение сканирующих окружностей. Более высокая засоренность кроны деревьев и неравномерное распределение стволов создают дополнительные «слепые зоны», в которых линия прямой видимости оказывается заблокирована.

Вследствие этого алгоритм вынужден увеличивать число скан-позиций и, соответственно, число окружностей, чтобы компенсировать недостаток покрытия территории в труднодоступных участках. При этом наблюдается сравнительно более плавный рост длины маршрута по мере наращивания числа окружностей: небольшие отклонения вокруг групп деревьев требуют лишь локального перемещения, а не полного обхода крупных препятствий, как это бывает в городской среде.

Таким образом, плотная растительность приводит к росту вычислительной нагрузки и числа окружностей ( $F \rightarrow 17$ ), но не к столь резкому удлинению маршрута, что особенно важно учитывать при планировании съемки лесных массивов и оптимизации времени работы на местности [22].

Анализ данных показывает, что маршруты в лесной среде в среднем имеют меньшую протяженность, чем в городской, из-за плотности размещения препятствий. Однако увеличение количества точек сканирования приводит к росту времени вычислений.

Сравнительный анализ результатов обеих сред позволяет сделать вывод о значительном влиянии структуры препятствий на эффективность размещения лазерного сканера. В городской среде плотность препятствий увеличивает сложность маршрута и требует более сложной оптимизации. В лесной местности, несмотря на наличие препятствий в виде деревьев и неровностей рельефа, размещение точек сканирования более равномерное и требует меньших вычислительных затрат [23].

Кроме того, было проведено тестирование системы на масштабируемость. При увеличении площади участков наблюдалось экспоненциальное возрастание времени расчетов в городских условиях, что указывает на необходимость дальнейшей оптимизации алгоритмов. В лесной среде данный рост был ме-

нее выражен. Одним из возможных направлений улучшения системы является внедрение адаптивных методов разбиения области и применения более эффективных эвристических подходов к решению ILP-задач [24].

Таким образом, результаты исследования подтверждают эффективность предложенного подхода к оптимизации размещения лазерного сканера с использованием ILP. Однако дальнейшие исследования могут быть направлены на снижение вычислительной сложности алгоритма и адаптацию методики для различных условий эксплуатации.

### **Заключение**

В ходе проведенного исследования была разработана и реализована методика оптимизации размещения точек стояния лазерного сканера, что обеспечивает полное и равномерное покрытие всей территории участка с использованием параметров дальности сканирования.

В рамках исследования был разработан алгоритм, учитывающий ограниченность области сканирования и влияние препятствий, которые могут блокировать прямую видимость между точками измерений установки лазерного сканера для эффективного покрытия исследуемых территорий.

Применение метода целочисленного линейного программирования позволило минимизировать количество точек сканирования при сохранении высокого качества данных. Экспериментальные результаты, полученные для различных типов территорий (городская застройка и лесная местность), подтвердили эффективность предложенного подхода.

Методика, разработанная в рамках данной исследовательской работы, основана на модифицированном алгоритме Кристофидеса для решения задачи TSP, позволила оптимизировать маршрут обхода, минимизировать количество необходимых сканирующих зон и обеспечить максимально возможное покрытие территории, что критически важно для повышения точности 3D-идентификации объектов в пространстве [25].

В дальнейшем планируется расширение исследования с учетом дополнительных факторов, таких как динамические изменения в структуре застройки и природных объектах, а также внедрение адаптивных алгоритмов, учитывающих временные и ресурсные ограничения в реальных условиях.

### **Благодарности**

Исследование проводилось при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках проекта № LAB-24.1/2.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Christofides, N. Worst-case analysis of a new heuristic for the travelling salesman problem. Technical Report, Graduate School of Industrial Administration, Carnegie-Mellon University. – 1976.
2. Шарафутдинова А. А., Брынь М. Я. Опыт применения наземного лазерного сканирования и информационного моделирования для управления инженерными данными в течение жизненного цикла промышленного объекта // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 1. – С. 57–67. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-1-57-67. – EDN UONPQL.
3. Дьяченко Р. А., Борисов С. Н. О возможности использования API геоинформационных систем // Научные чтения профессора Н. Е. Жуковского. Сборник научных статей VIII Международной научно-практической конференции «Научные чтения имени профессора Н. Е. Жуковского». КВВАУЛ им. Героя Советского Союза А. К. Серова, 2018. – С. 299–302. – EDN YPSAUK.
4. Макаров О. О. Анализ метаэвристик для задач многоагентной маршрутизации // Таврический вестник информатики и математики. – 2023. – № 1 (58). – С. 62–87. – EDN CHFQMW.
5. Мартынов А. В., Курейчик В. М. Гибридный алгоритм решения задачи коммивояжера // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 4 (165). – С. 36–44. – EDN TYMNZV.
6. Schneider D., Klein R. Review of scanning station placement strategies in 3D acquisition // Computer Vision and Image Understanding. – 2019. – Vol. 182. – P. 34–50. – DOI 10.1016/j.cviu.2019.03.003.

7. Мухаммад Ш. Х. Геодезическое обеспечение обмерной фиксации объектов культурного наследия на основе применения лазерно-сканирующей съемки : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.35 / Мухаммад Шокер Хуссейн. – СПб., 2022. – 145 с.
8. Конушина Е. Ю., Симашева Д. В. Фотограмметрия, как основополагающая дисциплина современного геодезиста // Перспективные разработки и прорывные технологии в АПК: Сборник материалов национальной научно-практической конференции, Тюмень, 21–23 октября 2020 г. – Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2020. – С. 30–34. – EDN LLOUUI.
9. Красиков А. А. Необходимость интеграции геодезических и ВМ-технологий в процессе проектирования зданий // Наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей IX Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 августа 2023 года. – Пенза : Наука и Просвещение, 2023. – С. 185–187. – EDN OQTAVM.
10. Литвиненко М. В. Практические аспекты исправления реестровых ошибок при наложении границ нескольких смежных земельных участков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т. 62, № 5. – С. 530–535. – DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-5-530-535. – EDN YMSADZ.
11. Краснопевцев Б. В. Фотограмметрия. – М. : Репрография МИИГАиК, 2008. – С. 91. – EDN QKNVXH.
12. Гура Д. А., Дубенко Ю. В., Буцацкий П. Ю., Марковский И. Г., Хушт Н. И. Мониторинг сложных объектов инфраструктуры // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. 4. Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 4 (251). – С. 74–80.
13. Аврунев Е. И., Горбцов С. Р. Геодезическое обеспечение кадастровых работ : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – 239 с.
14. Брынь М. Я., Богомолова Н. Н., Журавлев И. Н., Никитчин А. А. Возможности применения лазерного сканирования на стадии изысканий при реконструкции искусственных сооружений // Бюллетень результатов научных исследований. – 2020. – № 1. – С. 43–53. – DOI 10.20295/2223-9987-2020-1-43-53. – EDN IEWCHM.
15. Гура Д. А., Ващенко Д. А., Беспятчук Д. А., Самарин С. В., Пшидаток С. К. Перспективы применения воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки для обеспечения пространственными данными 3D-кадастра // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2023. – № 3. – С. 179–183. – DOI 10.33920/sel-04-2303-07. – EDN QVATCF.
16. Щенявская Л. А., Шалая А. А. Технология объединения пространственных данных, полученных по результатам наземного лазерного сканирования, цифровой аэрофотосъемки и ручного лазерного сканирования // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых : материалы LI студенческой научной конференции, Краснодар, 29 февраля 2024 г. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2024. – С. 509–515. – EDN UCRUHR.
17. Гура Д. А., Дьяченко Р. А., Шалая А. А. Разработка модульной структуры геоинформационной системы пространственного анализа данных // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2024. – Т. 19, № 5 (232). – С. 314–317. – DOI 10.33920/sel-04-2405-07. – EDN NUMDGH.
18. Дьяченко Р. А., Гура Д. А., Осенняя А. В. [и др.] Разработка структуры информационной системы геопро пространственных 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.
19. Золотухин В. В. Цифровое геодезическое оборудование в археологических исследованиях с применением методов геоинформационных систем // Вестник Новосибирского государственного университета. Сер. История, филология. – 2011. – Т. 10, № 7. – С. 61–66. – EDN OFWUYJ.
20. Волынова М. П. Цифровизация результатов территориального планирования на примере Федеральной государственной информационной системы территориального планирования // Цифровизация землепользования и кадастров: тенденции и перспективы : материалы международной научно-практической конференции 25 сентября 2020 г. – М. : ГУЗ, 2020. – С. 70–74. – EDN RQJXV.
21. Портнов А. М., Добровольский Д. О. Сравнительная оценка геометрической сложности контуров объектов местности при осуществлении государственного земельного надзора и мониторинга земель на примере объектов капитального строительства // Геодезия и картография. – 2024. – Т. 85, № 3. – С. 50–61. – DOI 10.22389/0016-2024-1005-3-50-61. – EDN HTGACU.

22. Чернов А. В. Исследование вариантов построения 3D-модели объектов недвижимости для целей кадастра // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 192–210. – EDN YAATKP.
23. Богомолова Н. Н. Определение точности геодезических измерений при реконструкции исторических объектов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 693–701. – DOI 10.20295/1815-588X-2022-4-693-701. – EDN QLTIEJ.
24. Степанов И. Ю. Использование методов машинного обучения в геоинформационных моделях при решении задач геофизической разведки // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 2. – С. 108–117. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-2-108-117. – EDN VHXCBY.
25. Гура Д. А. Применение технологий машинного обучения для распознавания крыш объектов недвижимости // Цифровые, компьютерные и информационные технологии в науке и образовании : сборник статей Межрегиональной научно-практической конференции с международным участием, Брянск, 01–02 ноября 2023 г. – Брянск : Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, 2023. – С. 301–309. – EDN OAKNKJ.

### Об авторах

*Дмитрий Андреевич Гура* – кандидат технических наук, доцент кафедры кадастра и геоинженерии Кубанского государственного технологического университета; кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии Кубанского государственного аграрного университета.

*Роман Александрович Дьяченко* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автоматизации производственных процессов.

*Сергей Алексеевич Ярутин* – студент.

*Александр Самвелович Макарян* – кандидат технических наук, доцент кафедры кибербезопасности и защиты информации.

Получено 14.04.2025

© Д. А. Гура, Р. А. Дьяченко, С. А. Ярутин, А. С. Макарян, 2025

### Optimizing route planning for efficient territory scanning operations

*D. A. Gura*<sup>1,2✉</sup>, *R. A. Dyachenko*<sup>1</sup>, *S. A. Yarutin*<sup>1</sup>, *A. S. Makarian*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation

<sup>2</sup> Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

e-mail: gda-kuban@mail.ru

**Abstract.** The authors present a novel methodology for optimal site traversal using a terrestrial laser scanner and combining a modified Christofides algorithm with integer linear programming (ILP). This approach tackles the NP-hard problem similar to a variant of the traveling salesman problem, while incorporating geometric constraints caused by obstacles in the scanned area. The method discretizes the terrain, generates point clouds around obstacle vertices, and constructs a graph of feasible scanning positions. Experimental evaluation on both synthetic and real datasets demonstrates that the proposed algorithm reduces the number of necessary scanning bypasses and total route length by 12-18% compared to traditional heuristic approaches, without compromising full boundary coverage. Although the ILP model's computational complexity increases with the number of obstacles, it provides high accuracy and is well suited for surveying, cadastre, cartography, and engineering diagnostics. The study highlights promising areas for future work, including dynamic route adaptation and the integration of hybrid optimization techniques to enhance scalability and efficiency.

**Keywords:** cadastre, laser scanning, the Christofides algorithm, route, optimization, NP-hard problem

### REFERENCES

1. Christofides, N. (1976). Worst-case analysis of a new heuristic for the travelling salesman problem. *Technical Report, Graduate School of Industrial Administration, Carnegie-Mellon University*. No 388. DOI 10.1007/s43069-021-00101-z.

2. Sharafutdinova, A. A., Bryn, M. Ya. (2021). Experience in using terrestrial laser scanning and information modeling for managing engineering data throughout the life cycle of an industrial facility. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 26, No. 1, pp. 57–67. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-1-57-67 [in Russian].
3. Dyachenko, R. A., Borisov, S. N. (2018). On the possibility of using GIS APIs. *Nauchnyye chteniya professora N.Ye. Zhukovskogo. Sbornik nauchnykh statey VIII Mezhdunarod-noy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchnyye chteniya imeni professora N. Ye. Zhukovskogo». KVVAVUL im. Geroya Sovetskogo Soyuza A. K. Serova [Proceedings of the 8th International Scientific-Practical Conference "Scientific Readings Named After Professor N. E. Zhukovsky". KVVUUL named after Hero of the Soviet Union A. K. Serov]*, pp. 299–302 [in Russian].
4. Makarov, O. O. (2023). Analysis of metaheuristics for multi-agent routing problems. *Tavricheskiy vestnik informatiki i matematiki [Tavrichesky Bulletin of Informatics and Mathematics]*, No. 1(58), pp. 62–87 [in Russian].
5. Martynov, A. V., Kureychik, V. M. (2015). A hybrid algorithm for solving the traveling salesman problem. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki. [Izvestiya SFU. Engineering Sciences]*, No. 4(165), pp. 36–44 [in Russian].
6. Schneider, D., Klein, R. (2019). Review of scanning station placement strategies in 3D acquisition. *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 182, pp. 34–50. DOI 10.1016/j.cviu.2019.03.003 [in Russian].
7. Muhammad, Sh. Kh. (2022). Geodetic support for surveying documentation of cultural heritage objects based on laser scanning: PhD thesis in Technical Sciences, 25.00.35. Saint Petersburg, 145 p. [in Russian].
8. Konushina, E. Yu., Simasheva, D. V. (2020). Photogrammetry as a fundamental discipline for modern surveyors. *Perspektivnyye razrabotki i proryvnyye tekhnologii v APK: Sbornik materialov natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tyumen', 21–23 oktyabrya 2020 goda [Prospective Developments and Breakthrough Technologies in the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the National Scientific-Practical Conference, Tyumen, October 21–23, 2020]*. Tyumen: Northern Trans-Ural State Agrarian University, pp. 30–34 [in Russian].
9. Krasikov, A. A. (2023). The necessity of integrating geodetic and BIM technologies in the building design process. *NAUKA i OBRAZOVANIYE: Aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sbornik statey IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Penza, 25 avgusta 2023 goda. – Penza: Nauka i Prosveshcheniye (IP Gulyayev G.YU.), [Science and Education: Topical Issues, Achievements and Innovations. Proceedings of the 9th International Scientific-Practical Conference, Penza, August 25, 2023]*. Penza: Nauka i Prosveshchenie, pp. 185–187 [in Russian].
10. Litvinenko, M. V. (2018). Practical aspects of correcting cadastral errors when overlapping the boundaries of adjacent land plots. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'yemka [Izvestiya of Higher Educational Institutions. Geodesy and Aerial Photography]*, Vol. 62, No. 5, pp. 530–535. DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-5-530-535.
11. Krasnopevcev, B. V. (2008). Photogrammetry. *Moscow: Reprography Publishing House, MII GAiK*, p. 91 [in Russian].
12. Gura, D. A., Dubenko, Yu. V., Buchatsky, P. Yu., Markovsky, I. G., Khusht, N. I. (2019). Monitoring of complex infrastructure facilities. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Yestestvenno-matematicheskkiye i tekhnicheskkiye nauki [Bulletin of Adyghe State University. Series 4: Natural-Mathematical and Technical Sciences]*, No. 4(251), pp. 74–80 [in Russian].
13. Avrunyev, E. I., Gorobtsov, S. R. (2024). Geodetic Support for Cadastral Works: Monograph. *Novosibirsk: SGUGiT*, 239 p. [in Russian].
14. Bryn, M. Ya., Bogomolova, N. N., Zhuravlev, I. N., Nikitchin, A. A. (2020). Possibilities of using laser scanning during the survey stage in the reconstruction of artificial structures. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy [Bulletin of Scientific Research Results]*, No. 1, pp. 43–53. DOI 10.20295/2223-9987-2020-1-43-53 [in Russian].
15. Gura, D. A., Vashchenko, D. A., Bespyatchuk, D. A., Samarin, S. V., Pshidatok, S. K. (2023). Prospects for the use of airborne laser scanning and aerial photography to provide spatial data for 3D cadasters. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel' [Land Management, Cadastre and Land Monitoring]*, No. 3, pp. 179–183 [in Russian].
16. Shchennyavskaya, L. A., Shalaya, A. A. (2024). Technology for merging spatial data obtained by terrestrial laser scanning, digital aerial photography, and handheld laser scanning. *Molodezhnaya*

*nauka. Sbornik luchshikh nauchnykh rabot molodykh uchenykh: Materialy LI stu-dencheskoy nauchnoy konferentsii, Krasnodar, 29 fevralya 2024 goda. [Youth Science. Best Scientific Works of Young Scientists: Proceedings of the LI Student Scientific Conference, Krasnodar, February 29, 2024].* Krasnodar: Kuban State Technological University, pp. 509–515. EDN UCRUHR [in Russian].

17. Gura, D. A., Dyachenko, R. A., Shalaya, A. A. (2024). Development of a modular structure of a geoinformation system for spatial data analysis. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel' [Land Management, Cadastre and Land Monitoring]*, Vol. 19, No. 5 (232), pp. 314–317. DOI 10.33920/sel-04-2405-07 [in Russian].

18. Dyachenko, R. A., Gura, D. A., Osenyaya, A. V., et al. (2024). Development of the structure of a geospatial information system for solving territorial planning tasks. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"yemka [Izvestiya of Higher Educational Institutions. Geodesy and Aerial Photography]*, Vol. 68, No. 4, pp. 87–99. DOI 10.30533/GiA-2024-013 [in Russian].

19. Zolotukhin, V. V. (2011). Digital geodetic equipment in archaeological research using GIS methods. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Istoriya, filologiya [Vestnik of Novosibirsk State University. Series: History, Philology]*, Vol. 10, No. 7, pp. 61–66 [in Russian].

20. Volynova, M. P. (2020). Digitalization of territorial planning results based on the Federal State Information System for Territorial Planning. *Tsifrovizatsiya zemlepol'zovaniya i kadastr: tendentsii i perspektivy: Materialy mezh-dunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 25 sentyabrya 2020 goda [Digitalization of Land Use and Cadastre: Trends and Prospects. Proceedings of the International Scientific-Practical Conference, September 25, 2020].* Moscow: GUZ, pp. 70–74 [in Russian].

21. Portnov, A. M., Dobrovolsky, D. O. (2024). Comparative assessment of the geometric complexity of terrain object contours during state land supervision and land monitoring based on capital construction sites. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, Vol. 85, No. 3, pp. 50–61. DOI 10.22389/0016-2024-1005-3-50-61 [in Russian].

22. Chernov, A. V. (2018). Research on the construction of 3D models of real estate objects for cadastral purposes *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 23, No. 3, pp. 192–210 [in Russian].

23. Bogomolova, N. N. (2022). Determining the accuracy of geodetic measurements in the reconstruction of historical objects. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Izvestiya of Petersburg State Transport University]*, Vol. 19, No. 4, pp. 693–701. DOI 10.20295/1815-588X-2022-4-693-701 [in Russian].

24. Stepanov, I. Yu. (2024). Application of machine learning methods in geoinformation models for geophysical exploration tasks. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2024, Vol. 29, No. 2, pp. 108–117. DOI 10.33764/2411-1759-2024-2-108-117 [in Russian].

25. Gura, D. A. (2023). Application of machine learning technologies for roof detection of real estate objects. *Tsifrovyye, komp'yuternyye i informatsionnyye tekhnologii v nauke i obrazovanii: Sbornik statey Mezhhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, Bryansk, 01–02 noyabrya 2023 goda. [Digital, Computer and Information Technologies in Science and Education: Proceedings of the Interregional Scientific-Practical Conference with International Participation, Bryansk, November 1–2, 2023].* Bryansk: Bryansk State University named after Academician I. G. Petrovsky, pp. 301–309 [in Russian].

### Author details

*Dmitry A. Gura* – Ph. D, Associate Professor of the Department of Cadastre and Geo-Engineering, Kuban State Technological University; Associate Professor of the Department of Geodesy, Kuban State Agrarian University.

*Roman A. Dyachenko* – D. Sc., Associate Professor, Professor of the Department of Automation of Production Processes.

*Sergey A. Yarutin* – Undergraduate.

*Alexander S. Makaryan* – Ph. D., Associate Professor of the Department of Cyber Security and Information Protection.

Received 23.04.2025

© D. A. Gura, R. A. Dyachenko, S. A. Yarutin, A. S. Makarian, 2025

УДК 332.3:528.9

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-101-109

## Формирование устойчивого землепользования с применением ГИС-технологий

*Е. В. Коцур<sup>1</sup>✉, А. В. Дубровский<sup>2</sup>, М. Н. Веселова<sup>1</sup>, А. М. Мельникова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина,  
г. Омск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: ev.kotsur@omgau.org

**Аннотация.** В статье дан анализ определения понятия «формирование устойчивого землепользования». Дана характеристика ГИС Аксиома, которая является отечественным аналогом ГИС MapInfo Pro. Предложен комплекс мероприятий, направленных на формирование устойчивого землепользования (УЗ) для сельскохозяйственной артели «Коянбай» (СА «Коянбай») Таврического муниципального района Омской области (Таврического м. р-на Омской обл.), разработанный на основе результатов проведения эколого-хозяйственного зонирования (ЭХ зонирования) с применением ГИС-технологий. Исследования проводились по методике Е. В. Коцур, в которую внесены изменения в связи с возникновением проблем в определении точности границ геоморфологических районов. В целях эксперимента ЭХ зонирование проведено без выделения геоморфологических районов, тем самым доказывая, что они не влияют на его ход, а только усложняют работу. С исключением данного этапа работы из методики уменьшилось количество выделяемых подклассов, стало меньше видов агроландшафтов, заметно сократилось время проведения их экологической оценки, но при этом группы пригодности, типы и сами ЭХ зоны сформировались так же, как и при выделении геоморфологических районов. Описан процесс формирования схемы ЭХ зонирования в ГИС Аксиома.

**Ключевые слова:** устойчивое землепользование, цифровая модель местности, схема ЭХ зонирования, ГИС-технологии

### Для цитирования:

*Коцур Е. В., Дубровский А. В., Веселова М. Н., Мельникова А. М.* Формирование устойчивого землепользования с применением ГИС-технологий // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 101–109. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-101-109

### Введение

Формирование устойчивого землепользования – это процесс, направленный на создание такого землепользования, которое будет обеспечивать высокие урожаи при минимальных денежных затратах и при этом будет сохранять экологическое равновесие и естественно сосуществовать с окружающей средой [1].

При формировании УЗ необходимо учитывать множество факторов, таких как климатические условия региона, тип почвы, осо-

бенности растительного покрова, наличие водных ресурсов и т. д.

Комплексный подход к решению этой задачи включает в себя следующие этапы.

1. Анализ факторов окружающей среды. На этом этапе необходимо изучить климатические условия региона, особенности почвенного покрова, ландшафтную геологию, наличие водных ресурсов и др. Это позволит определить, какие культуры лучше всего подходят для данного региона и какие методы культивирования и ухода за посевами наиболее эффективны.

2. Проектирование ландшафта. На этом этапе создаются модели землепользования с учетом изученных факторов окружающей среды. Важно учитывать как экономические, так и экологические аспекты.

3. Проведение агротехнических работ. Этот процесс проведения учитывает особенности выбранных культур и подходы к удобрению, обработке почвы, защите растений от вредителей и болезней.

4. Мониторинг и анализ результатов. Оценка продуктивности и экологической устойчивости сформированного землепользования проводится на этапе мониторинга и анализа результатов. На основании полученных данных происходит корректировка применяемых методов и технологий.

К конечным результатам формирования УЗ можно отнести увеличение урожайности, снижение денежных затрат, улучшение экологической ситуации, повышение способности агроландшафта к саморегулированию.

Применение ГИС-технологий при формировании экологически УЗ позволяют провести:

1) анализ землепользования: ГИС-технологии позволяют получать географическую информацию о структуре землепользования и таких характеристиках, как типы почвы, рельеф и состояние земельных ресурсов. Это позволяет выявлять проблемы экологической устойчивости и разрабатывать меры для их решения;

2) моделирование территории: ГИС-технологии позволяют создавать цифровые модели местности (ММ) для анализа рельефа и изменений на территории. Это помогает понимать влияние проектов на землепользование и возможные последствия для экологической устойчивости;

3) анализ экологической устойчивости: ГИС-технологии позволяют проводить анализ взаимодействия различных факторов, таких как климат, почва, растительность и географические условия, и оценивать их влияние на экологическую устойчивость.

Огромный вклад в формирование УЗ внесли такие ученые, как А. А. Варламов, С. Н. Волков, С. А. Гальченко, А. А. Мурашева, Т. В. Папаскири, В. Н. Хлыстун и др.

В продуктивной работе агропромышленного комплекса (АПК) важное место занимает

достоверная и актуальная информация, являясь основой для принятия управленческих решений и оценки их возможных экологических последствий. Незамедлительная обработка поступающей информации и преобразование результатов ее анализа в картографический вид на сегодняшний день является обязательными условиями эффективности формирования экологически устойчивого землепользования как на федеральном уровне, так и на уровне сельхозпроизводителя [2].

В связи с тем, что большая часть информации о почвенных ресурсах имеет пространственную привязку, очевидно, что в качестве базовой технологии лучше всего подходят географические информационные системы (ГИС). В их развитии заинтересованы как конкретные сельхозпроизводители, так и административные органы всех уровней [3].

Внедрение ГИС-технологий даст возможность оперативного решения таких задач, как разработка политики сельского хозяйства, прогнозирование урожая, надзор за использованием земель по их целевому назначению, разработка рекомендаций по повышению плодородия земель, контроль за информацией, поступающей для анализа и дальнейшего использования [3–5].

Целью настоящих исследований является формирование УЗ на территории СА «Коянбай» Таврического м. р-на Омской области на основе схемы ЭХ зонирования. Данная схема сформирована в процессе проведения ЭХ зонирования территории Таврического м. р-на Омской области в ГИС-программе MapInfo Pro [6]. Дальнейшие исследования проводились в ГИС Аксиома, тем более что программа поддерживает ТАВ-файлы, сформированные в MapInfo, и проблем с переносом данных с одной платформы на другую нет.

ГИС Аксиома представляет собой отечественный аналог MapInfo. При этом акцент делался на возможность программы оперативно вносить изменения как в графические, так и в семантические данные, а также на возможность отображения многомерных данных [7].

Практически все функции и инструменты ГИС Аксиома аналогичны ГИС MapInfo, что позволяет пользователям с навыками работы в MapInfo без проблем перейти работать в ГИС

Аксиома. При этом, несмотря на схожесть программ, в отечественной системе не используются программные компоненты, принадлежащие зарубежным производителям ГИС.

ГИС Аксиома доступна для платформ Windows, macOS и Linux. Она работает с распространенными векторными и растровыми форматами пространственных данных, обеспечивает хранение и обработку данных в системе управления базами данных и подключение к картографическим сервисам интернета. Такие инструменты, как ввод, редактирование, хранение, визуализация и анализ позволяют из неоднородных данных оперативно собрать единый проект, выполнить все необходимые операции и представить результаты в виде картографических отчетов.

ГИС Аксиома содержит современные средства картографического дизайна с условными обозначениями, утвержденными в РФ. Программа поддерживает большое количество картографических проекций, имеются инструменты и команды для анализа геоданных, создания графического оверлея и буферных зон, а также еще множество функций. Для расширения возможностей в ГИС Аксиома используется популярный язык программирования Python.

### ***Методы и материалы***

Для формирования УЗ территории СА «Коянбай» использованы результаты проведения ЭХ зонирования территории Таврического м. р-на Омской области по пригодности земель под пашню для выращивания ведущих зерновых культур и под кормовые угодья, в частности схема ЭХ зонирования с базой данных. Зонирование проводилось в рамках написания Александрой Маратовной Мельниковой магистерской диссертации по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры на тему «Организация использования агроландшафтов Таврического муниципального района Омской области с использованием ГИС-технологий».

Зонирование представляет собой процесс деления какого-либо пространства (территории) на участки (зоны) с учетом определен-

ных критериев для выполнения поставленных задач [8]. Зонирование и районирование различной направленности являются научно-информационной базой экологизации землеустройства. При формировании УЗ зонирование представляет большой интерес, так как именно зонирование позволяет выявить особенности исследуемой территории и принять правильные решения в вопросах организации территории [8].

ЭХ зонирование территории Таврического м. р-на Омской области проводилось по методике, разработанной Е. В. Коцур [5, 6, 8, 9]. В ней за основу формирования УЗ берутся результаты ЭХ зонирования территории. В свою очередь, основой зонирования являются результаты типизации земель (ТЗ), которая проводится с учетом группировки агроландшафтов по пригодности к использованию под пашню или кормовые угодья [9]. При формировании групп могут учитываться различные показатели. В данном случае этими показателями стали: рельеф, почвенный покров, балл бонитета, проявление негативных процессов, урожайность сельскохозяйственных культур, продуктивность кормовых угодий [10–12].

При проведении ЭХ зонирования по выбранной методике [6] возникла проблема с точностью установления границ геоморфологических районов, которые учитываются при выделении подклассов агроландшафтов. Поэтому принято решение провести зонирование без выделения геоморфологических районов, тем самым доказав, что такая детализация не влияет на конечный результат, а только усложняет работу. С исключением данного этапа из методики проведения ЭХ зонирования сократится и время проведения исследований.

ЭХ зонирование начинается с формирования цифровой ММ с атрибутивной базой данных.

СА «Коянбай» расположена на территории аула Коянбай Неверовского сельского поселения Таврического м. р-на Омской области. Артель является одной из ведущих сельскохозяйственных организаций Таврического м. р-на. В СА «Коянбай» имеется 11 полей со средним размером 118 га (рис. 1).

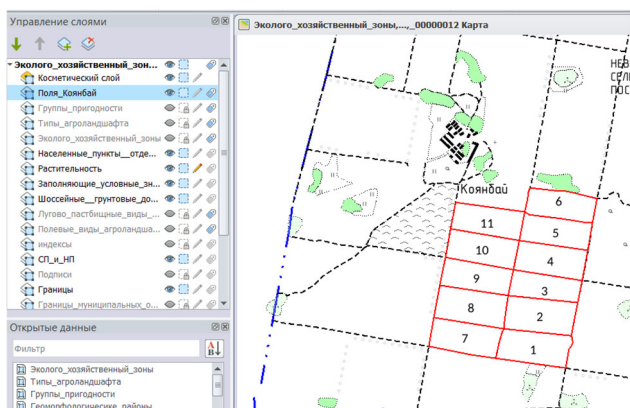


Рис. 1. Схема размещения полей СА «Коянбай» Таврического м. р-на Омской области

Основой для проведения зонирования служит почвенная карта. В данном случае использовали сформированную ранее цифровую ММ Таврического м. р-на Омской области [6], которая имеет слой «Почвы» с атрибутивной базой данных по каждой почвенной разности (рис. 2).

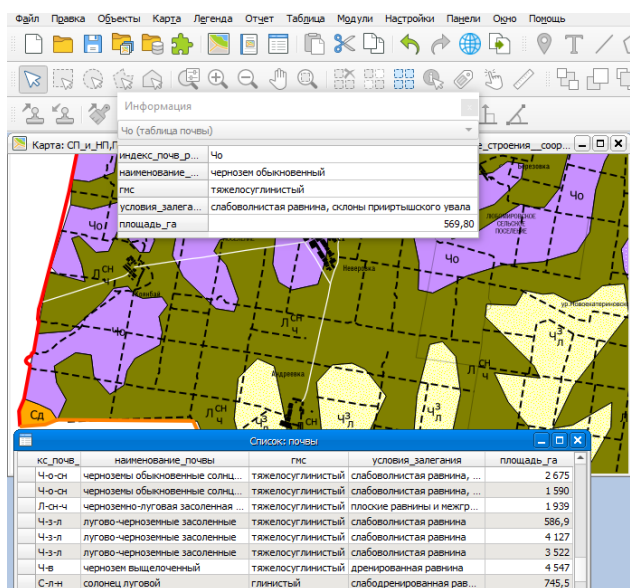


Рис. 2. Фрагмент цифровой ММ Таврического м. р-на Омской области

После проведенного анализа выявлено, что на территории СА «Коянбай» выделено две почвенные разности: чернозем обыкновенный и черноземно-луговая солонцеватая (рис. 3).

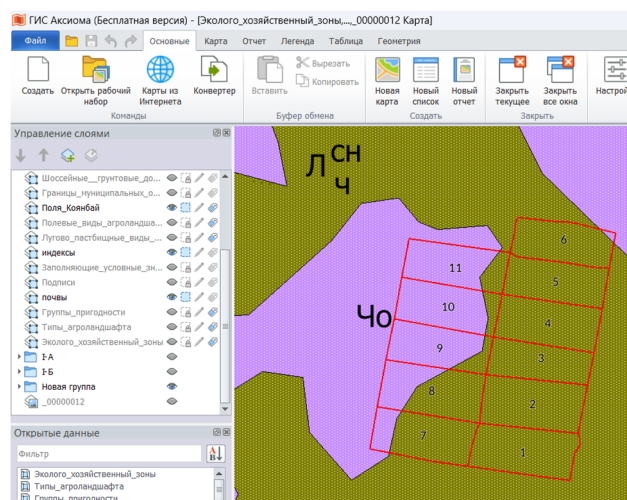


Рис. 3. Слой «Почвы» цифровой ММ Таврического м. р-на Омской области с сеткой полей СА «Коянбай»

Далее к слоям, созданным при формировании цифровой ММ, добавлены слои с информацией, необходимой для проведения ТЗ в агроландшафте (рис. 4) [5].

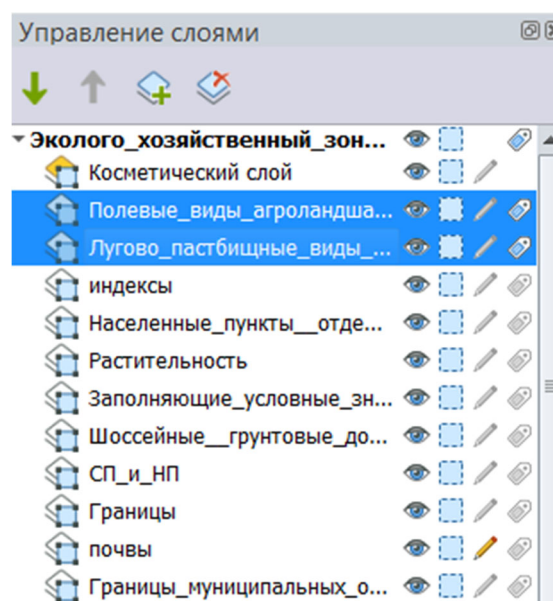


Рис. 4. Набор слоев, необходимых для выделения видов агроландшафтов

ТЗ включает следующие мероприятия:

- выделяются классы агроландшафтов;
- выделяются подклассы агроландшафтов;
- выделяются виды агроландшафтов;

- проводится оценка видов агроландшафтов;
- формируются группы пригодности;
- формируются типы [5].

Результатом ТЗ является карта видов агроландшафтов с необходимой информацией (индекс, название, площадь), сформированная в ГИС Аксиома (рис. 5).

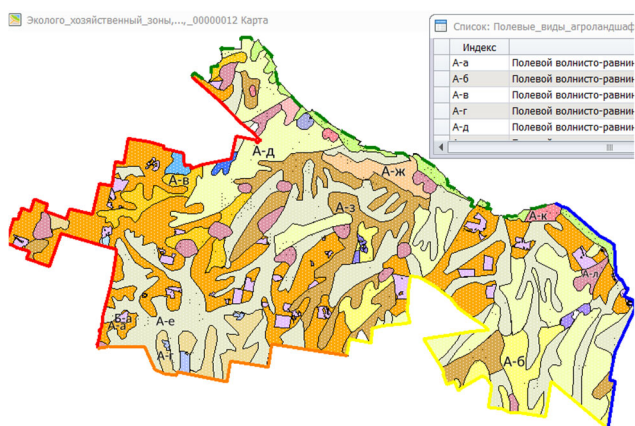


Рис. 5. Карта видов агроландшафтов Таврического м. р-на Омской области

Добавив к карте видов агроландшафтов слой с информацией по полям СА «Коянбай», можно увидеть, что исследуемая территория расположена на двух видах агроландшафтов: полевой волнисто-равнинный на черноземах и полевой плоскоравнинный на черноземно-луговых солонцеватых почвах (рис. 6).

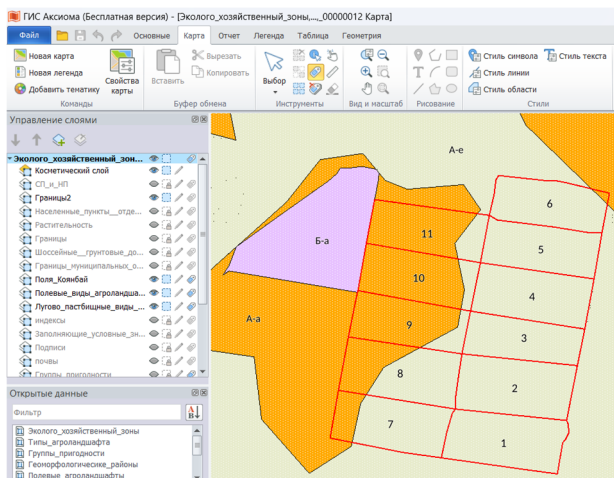


Рис. 6. Фрагмент карты видов агроландшафтов Таврического м. р-на Омской области с сеткой полей СА «Коянбай»

Сформированная база данных служит основой для дальнейшего проведения ТЗ в агроландшафтах. Для этого к данной базе добавляются новые слои (рис. 7).

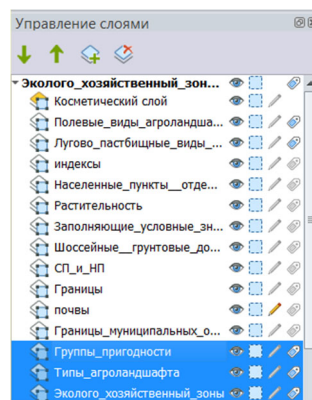


Рис. 7. Набор слоев для подготовки карты ЭХ зонирования

Учитывая экологическое состояние видов агроландшафтов [13, 14], их урожайность и балл бонитет сформировали группы по пригодности для выращивания сельскохозяйственных культур или для сенокосшения/пастбы скота. Группы объединили в типы, учитывая необходимость проведения специальных мероприятий, которые объединили в ЭХ зоны с учетом однородности экологического состояния [9]. В результате на территории Таврического м. р-на выделено пять ЭХ зон (рис. 8), для которых установлены режимы использования земель, способствующих формированию УЗ [15].

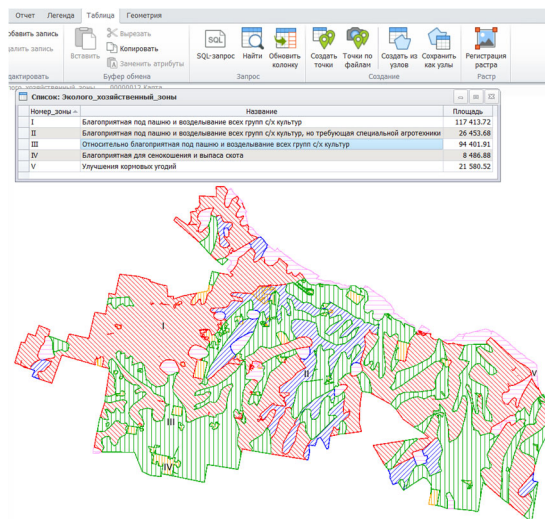


Рис. 8. Слой с ЭХ зонами, выделенными на территории Таврического м. р-на Омской области

Таблица 1

ЭХ зонирование полей СА «Коянбай» Таврического м. р-на Омской обл.

Анализируя подгруженный слой с сеткой полей СА «Коянбай» к схеме ЭХ зонирования (рис. 9), можно сделать вывод, что исследуемая территория располагается в границах трех зон (табл. 1).

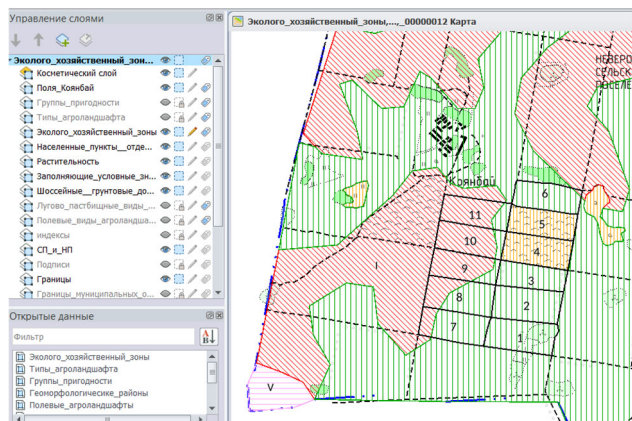


Рис. 9. ЭХ зонирование СА «Коянбай» Таврического м. р-на Омской области

Номер поля	ЭХ зона	
	Номер	Характеристика
1, 2, 3, 6	III	Относительно благоприятная для использования под пашню и возделывания основных групп с/х культур (рожь, ячмень, овес, кукуруза, подсолнечник и т. д.) [5, 6, 8, 9]
4, 5	IV	Благоприятная для использования под кормовые угодья (сенокосение, выпас скота) [5, 6, 8, 9]
7, 8, 9, 10, 11	I	Благоприятная для использования под пашню и возделывания всех групп с/х культур [5, 6, 8, 9]
	III	Относительно благоприятная для использования под пашню и возделывания основных групп с/х культур (рожь, ячмень, овес, кукуруза, подсолнечник и т. д.) [5, 6, 8, 9]

### Результаты

Исходя из проведенного анализа в целях формирования УЗ на территории СА «Коянбай» разработаны рекомендации по дальнейшему использованию полей хозяйства (табл. 2).

Таблица 2

Рекомендации по использованию полей СА «Коянбай» Таврического м. р-на Омской области

Номер поля	Номер ЭХ зоны	Рекомендации								
		Регулируемое использование	Возделывание всех групп с/х культур в системе севооборотов	Возделывание основных групп с/х культур в системе севооборотов	Ограниченное возделывание групп с/х культур	Проведение организационно-хозяйственных мероприятий	Использование для пастбы скота в системе пастбищеоборотов	Использование для сенокосения в системе сенокосеоборотов	Ограниченное применение интенсивных технологий, химических удобрений	Перепроектирование полей с учетом границ ЭХ зон
1, 2, 3, 6	III	+		+	+	+				
4, 5	IV	+				+	+	+	+	
7, 8, 9, 10, 11	I	+	+			+			+	+
	III	+		+	+	+				+

### Заключение

Таким образом, в рамках проведенных исследований разработаны рекомендации в целях формирования УЗ на территории СА «Коянбай» Таврического м. р-на Омской области. Процесс установления мероприятий, способствующих стабилизации ситуации, представляет собой визуальный анализ сетки полей ис-

следуемого хозяйства, подгруженной к схеме ЭХ зонирования Таврического м. р-на, сформированной ранее. Схема имеет базу данных, в том числе установленные режимы использования земель для каждой ЭХ зоны, которые стали основой для данных рекомендаций.

Работы проводились в ГИС Аксиома. Программа подтвердила статус лучшего отечественного аналога ГИС MapInfo Pro.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельничук А. Ю., Закаличная О. В. Устойчивое землепользование как основа устойчивого развития сельских территорий Симферопольского района Республики Крым // Управление объектами недвижимости и развитием территорий : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов : Саратовский ГАУ, 2017. – С. 262–266. – EDN VMKVYM.
2. Веселова М. Н., Сусикова Ю. А., Ямова А. А. Комплексный анализ организации использования земель сельскохозяйственной организации // International Agricultural Journal. – 2023. – Т. 66, № 5. – С. 1793–1815. – DOI 10.55186/25876740\_2023\_7\_5\_30. – EDN EMGMNY.
3. Дубровский А. В., Троценко Е. С. Опыт использования геоинформационных технологий при проектировании систем адаптивно-ландшафтного земледелия на территорию НСО // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесостроительство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 64–68. – EDN PDTENZ.
4. Костин И. Г. Использование геоинформационных систем для анализа экологического состояния агроландшафтов // Московский экономический журнал. – 2023. – № 2. – С. 8–9. – DOI 10.55186/2413046X\_2023\_8\_2\_54. – EDN FEYMQJ.
5. Коцур Е. В. Использование ГИС-технологий как инструмента для формирования экологически устойчивого агроландшафта // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 156–172. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-1-156-172. – EDN NPRRLU.
6. Коцур Е. В., Долматова О. Н., Мельникова А. М. Организация использования земель с применением ГИС-технологий (на примере Таврического муниципального района Омской области) // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 1. – С. 73–86. – DOI 10.30533/GiA-2023-008. – EDN WMNJOG.
7. Каргашин П. Е. Основы цифровой картографии : учебное пособие для бакалавров. – М. : Дашков и К°, 2020. – 106 с. – ISBN 978-5-394-04073-3. – EDN QORHWI.
8. Коцур Е. В., Веселова М. Н. Эколого-хозяйственное зонирование агроландшафтов Павлоградского района Омской области // Омский научный вестник. – 2015. – № 2 (144). – С. 186–190. – EDN VBCVYZ.
9. Коцур Е. В. Разработка методики формирования экологически устойчивого агроландшафта на основе ГИС-технологий : дис. ... канд. техн. наук – Коцур Елена Вильевна. – Новосибирск, 2020. – 156 с. – EDN MHJFEO.
10. Коцур Е. В., Веселова М. Н. Типизация земель в агроландшафтах // Геодезия, землеустройство и кадастры: вчера, сегодня, завтра : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию землеустроительного факультета Омского ГАУ. – Омск : Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2017. – С. 59–64. – EDN ZISHQF.
11. Rogatnev Y. M., Khorechko I. V., Veselova M. N. Agricultural land use in the post-reform period (2000-2020) in a market economy // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, June 20–21, 2021. Ussurijsk, – P. 032103. – DOI 10.1088/1755-1315/937/3/032103. – EDN GSFVYE.
12. Щерба В. Н., Долматова О. Н. Оценка состояния и перспективы развития системы землепользования южной лесостепи Омской области // Московский экономический журнал. – 2022. – Т. 7, № 5. – С. 107–122. – DOI 10.55186/2413046X\_2022\_7\_5\_323. – EDN DRDGAD.
13. Веселова М. Н., Короткова В. К. Экологическое состояние земель Исилькульского муниципального района Омской области // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития : сб. науч. труд. по материалам III междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию юбилею доктора эконом. наук, проф. Ю. М. Рогатнева. – Омск : Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2021. – С. 133–138. – EDN NRFTTT.
14. Капитулина Н. А. Информационное обеспечение эффективного сельскохозяйственного производства на основе результатов зонирования // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2023. – Т. 12, № 2 (43). – С. 41–44. – EDN CWWVFL.
15. Долматова О. Н. Устойчивое землепользование как основа формирования эффективного сельскохозяйственного производства // Вестник ОмГАУ. – 2016. – № 3 (23). – С. 165–173. – EDN WLSMQZ.

## Об авторах

Елена Вильевна Коцур – кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства.

Алексей Викторович Дубровский – директор Института кадастра и природопользования, доктор технических наук, доцент кафедры кадастра и территориального планирования.

Марина Николаевна Веселова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства.

Александра Маратовна Мельникова – магистр кафедры землеустройства.

Получено 20.08.2024

© Е. В. Коцур, А. В. Дубровский, М. Н. Веселова, А. М. Мельникова, 2025

## GIS-driven approaches to sustainable land use development

E. V. Kotsur<sup>1</sup>✉, A. V. Dubrovsky<sup>2</sup>, M. N. Veselova<sup>1</sup>, A. M. Melnikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: ev.kotsur@omgau.org

**Abstract.** The authors present an analysis of the concept of "sustainable land use formation" and introduce the geographic information system Aksioma – a domestically developed alternative to GIS MapInfo Pro. A comprehensive set of measures for implementing sustainable land use at the agricultural cooperative "Koyanbay" in the Tavrichesky municipal district of the Omsk region is proposed. These measures are based on ecological-economic zoning (EE zoning) carried out with GIS technologies. The study adapts the methodology offered by E.V. Kotsur to address challenges in accurately defining geomorphological district boundaries. An experimental approach excluded the delineation of geomorphological districts, demonstrating that this simplification does not compromise the zoning outcomes but streamlines the process. Omitting this step reduced the number of subclasses, types of agro-landscapes identified, significantly decreasing the time needed for ecological assessment, while the key suitability groups, and EE zones remained consistent. The authors further detail the development process of the EE zoning scheme within the GIS Aksioma environment, illustrating its application for sustainable land use planning. This approach highlights the potential of GIS-based methods to enhance efficiency and accuracy in environmental zoning and land management.

**Keywords:** sustainable land use, digital terrain model, map of ecological and economic zoning, GIS technologies

## REFERENCES

1. Melnichuk, A. Yu., & Zakalichnaya, O. V. (2017). Sustainable land use as the basis for sustainable development of rural areas of the Simferopol region of the Republic of Crimea *In Sbornik materialov Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Upravleniye ob'yektami nedvizhimosti i razvitiyem territoriy [Proceedings Management of real estate objects and territory development: International scientific and practical Conference]* (pp. 262 – 266). Saratov: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Saratov State Agrarian University. EDN VMKVYM [in Russian].
2. Veselova, M. N., Susikova, Yu. A., & Yamova, A. A. (2023). Comprehensive analysis of the organization of land use of an agricultural organization. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal [International Agricultural Journal]*, 66(5), 1793–1815. DOI 10.55186/25876740\_2023\_7\_5\_30. EDN EMGMNY [in Russian].
3. Dubrovsky, A. V., & Trotsenko, E. S. (2012). Experience in using geoinformation technologies in the design of adaptive landscape farming systems for the territory of the Novosibirsk region *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* (pp. 64–68). Novosibirsk: SSGA Publ. EDN PDTENZ [in Russian].

4. Kostin, I. G. (2023). Using geographic information systems to analyze the ecological state of agricultural landscapes. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal]*, 2, 8–9. DOI 10.55186/2413046X 2022\_7\_5\_323. EDN FEYMQJ [in Russian].
5. Kotsur, E. V. (2020). The use of GIS technologies as a tool for the formation of an environmentally sustainable agricultural landscape. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(1), 156–172. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-1-156-172. EDN NPRRLU [in Russian].
6. Kotsur, E. V., Dolmatova, O. N., & Melnikova, A. M. (2023) Organization of land use using GIS technologies (on the example of the Tavrichesky municipal district of the Omsk region). *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, 67(1), 73–86. DOI 10.30533/GiA-2023-008. EDN WMNJOG [in Russian].
7. Kargashin, P. E. (2023). *Osnovy tsifrovoy kartografii [Fundamentals of digital cartography]*. Moscow: Dashkov and Co, 106 p. ISBN 978-5-394-04073-3. EDN QORHWI [in Russian].
8. Kotsur, E. V., & Veselova, M. N. (2015). Ecological and economic zoning of agricultural landscapes of the Pavlograd district of the Omsk region. *Omskiy nauchnyy vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*, 2(144), 186-190. EDN VBCVYZ [in Russian].
9. Kotsur, E. V. (2020). Razrabotka metodiki formirovaniya ehkologicheskogo ustoychivogo agrolandshafta na osnove GIS-tekhnologii. *Candidate's thesis*. Novosibirsk. EDN MHJFEO [in Russian].
10. Kotsur, E. V., & Veselova, M. N. (2017). Typification of lands in agricultural landscapes // *In Sbornik materialov Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Geodeziya, zemleustroystvo i kadastry: vchera, segodnya, zavtra [Proceedings Geodesy, land management and cadastres: yesterday, today, tomorrow: International scientific and practical Conference]* (pp. 59–64). Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. EDN ZISHQF [in Russian].
11. Rogatnev, Y. M., Khorechko, I. V., & Veselova, M. N. (2021). Agricultural land use in the post-reform period (2000-2020) in a market economy *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk*, June 20–21, 2021, 032103. DOI 10.1088/1755-1315/937/3/032103. EDN GSFVYE.
12. Shcherba, V. N., & Dolmatova, O. N. (2022). Assessment of the state and prospects for the development of the land use system of the Southern forest-steppe of the Omsk region. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal]*, 7(5), 107–122. DOI 10.55186/2413046X 2022\_7\_5\_323. EDN DRDGAD [in Russian].
13. Veselova, M. N., & Korotkova, V. K. (2021). Ecological state of the lands of the Isilkul municipal district of the Omsk region *In Sbornik materialov Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: Geodeziya, zemleustroystvo i kadastry: problemy i perspektivy razvitiya [Proceedings Geodesy, land management and cadastres : problems and development prospects: International scientific and practical Conference]* (pp. 133–138). Omsk: Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin. EDN NRFTTT [in Russian].
14. Kapitulina, N. A. (2023). Information support for efficient agricultural production based on the results of zoning. *Azimuth nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravleniye [Azimuth of Scientific Research: economics and business]*, 12(2), 41–44. EDN CWWVFL [in Russian].
15. Dolmatova, O. N. (2016). Sustainable land use as the basis for the formation of effective agricultural production. *Vestnik OmGAU [Vestnik OmSAU]*, 3 (23), 165–173. EDN WLSMQZ [in Russian].

### Author details

*Elena V. Kotsur* – Ph. D., Associate Professor of the Department of Land Management.

*Alexey V. Dubrovsky* – Director of the Institute of Cadastre and Environmental Management, D. Sc., Associate Professor of the Department of Cadastre and Territorial Planning.

*Marina N. Veselova* – Ph. D., Associate Professor of the Department of Land Management.

*Alexandra M. Melnikova* – MSc of the Department of Land Management.

Received 20.08.2024

© E. V. Kotsur, A. V. Dubrovsky, M. N. Veselova, A. M. Melnikova, 2025

УДК 332.025.13:553.98(571.1/.5)  
DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-110-121

## Система показателей локального мониторинга земель лицензионных участков нефтегазодобычи в условиях Крайнего Севера

*И. Н. Кустышева<sup>1✉</sup>, В. В. Беленко<sup>2</sup>, В. Н. Москвин<sup>3</sup>, Н. Г. Мартынова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии,  
г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: kustyshevain@tyuiu.ru

**Аннотация.** Использование дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса стало неотъемлемой частью современного мониторинга и оценки состояния земель и иных природных ресурсов в чрезвычайно сложных условиях районов Крайнего Севера, климатические, природные особенности и деятельность человека в которых требуют особенно пристального внимания к их использованию и охране. Цель статьи заключается в разработке системы показателей, основанной на данных ДЗЗ из космоса и предназначенной для объективной оценки состояния и динамики природной среды в пределах лицензионных участков нефте- и газодобычи с высокой степенью антропогенной нагрузки. Подчеркнута необходимость учета традиционного природопользования, осуществляемого коренными малочисленными народами в таких районах. Анализ научных источников показывает, что система показателей подобной системы мониторинга должна включать в себя полный спектр параметров и индикаторов, способных обеспечить полноценное описание изменений, происходящих в природной среде северных регионов. Авторами предложен подобный перечень показателей, а также определен ряд негативных процессов, для которых в действующих нормативных актах отсутствуют четкие понятия и нормативы, являющиеся ключевыми элементами для принятия обоснованных решений в области управления природными ресурсами Крайнего Севера.

**Ключевые слова:** регионы Крайнего Севера, лицензионные участки, нефтегазодобыча, мониторинг земель, система показателей

### Для цитирования:

*Кустышева И. Н., Беленко В. В., Москвин В. Н., Мартынова Н. Г.* Система показателей локального мониторинга земель лицензионных участков нефтегазодобычи в условиях Крайнего Севера // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 110–122. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-110-121

### Введение

Активная нефтегазовая деятельность на Крайнем Севере Западной Сибири приводит к трансформации природно-территориальных комплексов в результате загрязнения, заболачивания, деградации земель. Химическое, тепловое и радиационное загрязнение приводит к образованию больших участков промышленного загрязнения, в центре кото-

рых образуются антропогенные зоны, напоминающие пустыни. Параллельно происходит изменение привычных способов традиционного использования природных ресурсов, что отрицательно сказывается на качестве жизни коренных народов.

Совокупная площадь нарушенных земель в Арктической зоне на 31 декабря 2022 г. составила 298 068 га. Среди регионов наибольшая площадь нарушенных земель приходится

на Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) – 173 218 га, или 58 % от общего количества нарушенных земель (Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 г. (режим доступа: file:///C:/Users/User/Downloads/Доклад\_Минприроды\_2022.pdf)).

В условиях Крайнего Севера мониторинг земель ограничен сезонностью и доступностью территории к проведению натурных обследований, плохо развитая инженерно-транспортная инфраструктура ограничивает доступ специалистов и оборудования к удаленным и труднодоступным участкам [1–3]. Учитывая такие обстоятельства, целесообразно предложить использовать данные ДЗЗ из космоса как первоисточник актуальной и доступной информации для мониторинга, что позволит не только установить факт нарушения земель, но и определить его причины на основе ретроспективного анализа и дешифрирования космоснимков. В связи с этим проведенное исследование по разработке комплексной системы показателей, которое направлено на оценку влияния нефтегазовой отрасли о состоянии земель и получения достоверной информации по космоснимкам, приобретает особую актуальность и прогнозную значимость. Ведь, несмотря на минимальную площадь промышленного освоения в общей структуре земельного фонда, нефтегазовая отрасль вносит дестабилизацию природных процессов на обширных территориях [4].

В настоящее время система показателей локального мониторинга земельных ресурсов наиболее детально разработана и изучена для земель сельскохозяйственного назначения, так как сельскохозяйственные угодья подвергаются более полному и систематическому обследованию в ходе проектно-исследовательских работ и научных исследований, проводимых различными учреждениями, включая Минсельхоз, Министерство природных ресурсов и др.; но земли сельскохозяйственного назначения Крайнего Севера (преобладающее количество по сравнению с другими категориями земель) в значительной мере отличаются от тех земельных ресурсов, в отношении которых мы привыкли понимать значение сельскохозяйственных территорий. На

примере земельной статистики ЯНАО (Ямальский район, табл. 1) можно увидеть, какими угодьями представлены земельные ресурсы, аналогичная ситуация присуща всем районам округа.

Таблица 1

Земельная статистика ЯНАО  
(Ямальский район)

Вид угодья	Площадь, га
Сельскохозяйственные угодья, в том числе сенокосы	5 448,0
Сельскохозяйственные угодья, в том числе пастбища	3 238,0
Лесные земли, в том числе покрытые лесами	39 682,0
Лесные земли, в том числе не покрытые лесами	12 242,0
Под древесно-кустарниковой растительностью, не входящей в лесной фонд	700 570,0
Под водой	3 772 819,0
Земли застройки, всего	4 030,0
Под дорогами, всего	2 641,0
Болота	232 774,0
Нарушенные земли	7 115,0
Прочие земли, в том числе полигоны отходов, свалки	48,0
Прочие земли, в том числе пески	250 133,0
Прочие земли, в том числе земельные участки с тундровой растительностью	8 984 166,0
Прочие земли, в том числе другие земли	857 747,0
Из всех земель оленьи пастбища	9 619 822,0

Информация о состоянии и использовании земель в рамках рекомендованных показателей «Единой системы мониторинга земель» зачастую оказывается неполной не только для территорий Крайнего Севера, но и территорий с благоприятными климатическими условиями. Связано это прежде всего с нехваткой долгосрочных наблюдений, что в свою очередь усложняет проведение качественного анализа собранных данных, тем более что проведение мониторинга земель является функцией различных министерств и ведомств, которые получают противоречивую информацию только по использованию или только по состоянию земель (разные информационные системы, разные реестры и базы данных). Примером может служить информация ведомственных служб Ханты-Мансий-

ского и Ямало-Ненецкого автономных округов по проведению мониторинга земель в регионах, в деятельность которых входят обязанности проводить мониторинг земель по целевому назначению и виду разрешенного использования, а не по состоянию земель (стоит уточнить, что в Ханты-Мансийском автономном округе только два муниципальных района приравнены к территории Крайнего Севера: Белоярский и Березовский). Деятельность по мониторингу состояния земель в значительной степени возложена на нефтегазовые компании при проведении промышленного экологического мониторинга. Стоит отметить, что данные, полученные в результате этой деятельности, не всегда являются достоверными, так как представлены в отчетной документации, которую составляют сами недропользователи, что может вызывать сомнения в их объективности и реальном состоянии природных сред.

Разрабатывая теоретические концепции с практическими исследованиями различных авторов, среди которых Т. В. Ананко, Е. И. Аврунев, А. В. Баранов, В. Я. Григорьев, С. А. Липский, Т. А. Емельянова, Yu Q., Epstein H. E., Engstrom и др., можно отметить, что на протяжении многих лет они проводят научно-исследовательские проекты, посвященные мониторингу земель Арктической зоны [5, 6]. Проведенные исследования, безусловно, внесли значительный вклад в понимание состояния земель Крайнего Севера, однако представленные результаты могут не полностью отражать сложную динамику и многообразие факторов, влияющих на состояние этих территорий. В исследованиях авторов рассматриваются и применяются лишь отдельные показатели (состояние почвы, растительности) или процессы (эрозия, заболачивание, термокарст), которые, несмотря на свою значимость, не позволяют получить полноценную и комплексную оценку состояния земель. Утверждения М. Н. Саксонова, А. Д. Абалакова о том, что все экосистемы и их компоненты выступают в роли объектов экологического мониторинга, не подлежат сомнению, поскольку они содержат информацию о разных свойствах, что делает их значимыми для исследования и оценки состояния природных

сред. Но проблема заключается в многокритериальности систем, которая приводит к затруднениям в определении контролируемых показателей, где в процессе мониторинга исследуется не сам объект, а его состояния.

В связи с этим авторы предлагают альтернативный метод, основанный на разработанной ими системе показателей мониторинга земель с использованием данных ДЗЗ из космоса, адаптированной для Крайнего Севера. Эта система дополнит существующие данные о состоянии и использовании земель, обеспечивая более глубокое понимание возможных изменений в экосистемах региона.

### *Методы и материалы*

Материалами для исследования послужили данные из информационных ресурсов, такие как: нормативно-правовые документы Росреестра о порядке осуществления государственного мониторинга земель (приказ от 22 июля 2021 г. № П/0315; приказ от 23.08.2024 № П/0267/24 «О внесении изменений в Порядок осуществления ГМЗ»); Приказ Минсельхоза России от 24.12.2015 № 664 (ред. от 02.03.2023) «Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». Документы регионального уровня, такие как: закон Ханты-Мансийского автономного округа – Югры от 28.12.2006 № 145-оз «О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера регионального значения в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре»; закон Ханты-Мансийского АО «О земле»; Постановление Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа от 30.06.2023 № 529-П «О мониторинге и контроле содержания объектов и территорий в Ямало-Ненецком автономном округе». Данные о состоянии земельного фонда исследуемой территории: государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в РФ (2023 г.); Доклад о состоянии и использовании земель в ЯНАО, Доклад об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе (2022); земельная статистика ЯНАО; Доклад о состоянии и использо-

вании земель в Тюменской области по исследуемой проблематике.

На основе общих и специальных методов исследования (аналитический, системный анализ, наблюдение, сравнение, обобщение) и учета разнообразия подходов, применяемых для определения состояния разных природных сред, авторы поставили задачу разработки системы показателей локального мониторинга не только для оценки состояния и использования земель, но и в качестве информационно-аналитического «инструмента» для принятия управленческих решений.

Земля рассматривается как сложная экосистема, состоящая из различных элементов, таких как рельеф, климат и водные ресурсы. В связи с этим выделяются два основных подхода к созданию показателей мониторинга земельных ресурсов. Первый подход нацелен на разработку интегрированных показателей, объединяющих показатели различных природных компонентов. Второй подход основывается на выделении «центрального» компонента, который лучше всего отражает изменения в земельных ресурсах.

Первый из предложенных подходов, безусловно, представляет собой сложную задачу, однако его реализация может привести к наиболее полным и информативным результатам. В настоящее время второй подход является базовым в системе показателей государственного мониторинга земель, при этом в качестве «центрального» компонента рассматриваются почвы.

Согласно определению М. А. Глазовской, «почва является одним из самых информативных элементов ландшафтно-геохимической системы и служит ее центральным ядром» [7]. Следует обратить внимание и на работу в коллективной монографии А. С. Яковлева и А. П. Сизова, где предпринята попытка гармонизации научного и административно-правового толкования понятий «почва» и «земля» как самостоятельных компонентов окружающей среды [8].

Для региона Крайнего Севера (КС) почва представляет один из информативных блоков, однако ее анализ имеет свои сложности. Например, почвы арктической области, такие как арктические пустынные, типичные, кар-

бонатные и т. п., обладают свойствами невозобновимости, что ставит под сомнение устойчивость их состояния при воздействии антропогенных факторов. Арктотундровые и тундровые почвы характеризуются высокой уязвимостью к изменениям, как естественным, так и вызванным человеческой деятельностью [9]. В связи с этим изучение только почвы в пределах территории КС не позволяет всесторонне оценить состояние и использование земельных ресурсов. Необходим более комплексный подход, учитывающий взаимосвязь почвы с биосферой и гидросферой в условиях сурового климата и антропогенной нагрузки.

### ***Результаты***

Для разработки комплексной системы показателей локального мониторинга земель (ЛМЗ) районов КС предлагается рассмотреть первый подход, по результатам которого будет рассчитан интегрированный показатель, объединяющий отдельные характеристики состояния и использования земельных ресурсов, что поспособствует формированию обобщенного понятия «земли» в контексте рационального управления природными ресурсами и оценки воздействия различных видов деятельности на экосистемы.

Территория Крайнего Севера практически полностью поделена на лицензионные участки для разведки, добычи и эксплуатации углеводородов, которые могут служить территориальной единицей для проведения мониторинга земель на локальном уровне. Границы лицензионных участков имеют координатную привязку к территории в отличие от иного административно-территориального деления, где границы категорий земель и угодий установлены условно и в лучшем случае проходят по естественным границам озер, берегов рек, урочищам и т. д. Следует учесть тот факт, что проведение экологического мониторинга в границах лицензионного участка является обязательным согласно действующему законодательству. Компании должны выполнять условия лицензионного соглашения, в котором прописано обязательное проведение регулярных обследований с целью оценки воздействия на окружающую среду.

Учитывая данное обстоятельство и особенности территории, которые были приведены выше, авторами предлагается первоначально получать информацию о состоянии и использовании земель на локальном уровне в границах лицензионных участков, используя данные ДЗЗ из космоса, а именно космические изображения высокого и среднего пространственного разрешения [3, 10].

Преимущества применения ДЗЗ из космоса в области мониторинга земель, особенно в условиях Крайнего Севера, заключаются в возможности непрерывного и удаленного доступа к получению сведений для расчета и определения показателей на значительных территориальных площадях. Результаты интерпретации полученных снимков способствуют эффективному картографированию больших территорий благодаря добавлению специфической информации, доступ к которой через традиционные полевые методики либо невозможен, либо требует значительных материальных затрат [11, 12].

Первоочередной задачей, стоящей перед авторами в процессе разработки набора показателей, является обеспечение их легкой ин-

терпретацией и минимальными временными затратами на обработку. Показатели должны быть актуальными и достоверными, а также характеризоваться низкими экономическими затратами для их получения, но при этом быть максимально информативными. Эти показатели смогут объединять отдельные параметры состояния компонентов окружающей среды и сформировать единое понятие «нарушенные земли», которое сложилось из совокупности процессов, представленных на рис. 1.

В результате анализа нормативно-правовых документов и специализированной литературы по заявленной теме были сформулированы определения рассматриваемых процессов, для которых в действующих нормативных актах отсутствуют уточненные понятия. Вместе с тем, ряд авторов в научных сообществах предоставляет различные разъяснения, что позволяет более точно интерпретировать эти процессы. Таким образом, данное исследование обосновывает необходимость уточнения терминологии, а также выделяет ключевые аспекты, которые должны быть учтены при формировании стандартов и рекомендаций в данной области исследований (табл. 2).

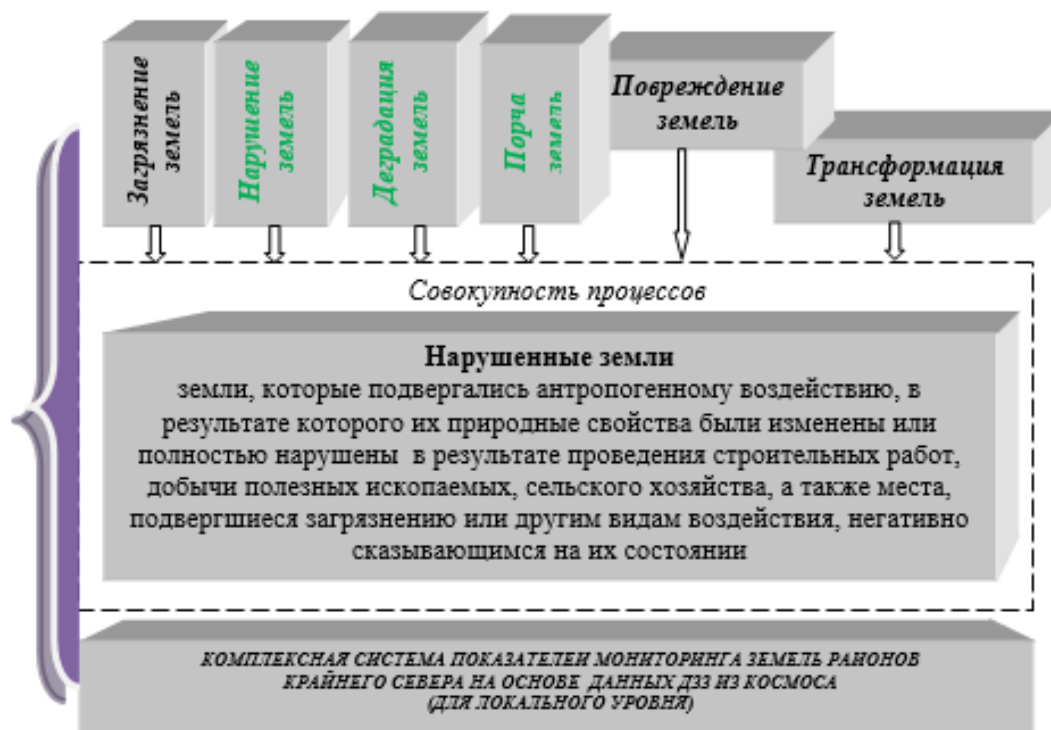


Рис. 1. Совокупность процессов для разработки комплексной системы показателей локального мониторинга земель районов Крайнего Севера

При этом комплексная система показателей создается на основе долговременного ретроспективного анализа материалов дистанционного зондирования по космоснимкам [13, 14].

Так как нам необходимо провести анализ космоснимков за долгосрочный период времени и анализ процессов эволюционных (связанных с естественно-историческими факторами), антропогенных и чрезвычайных (связанных с авариями), в работе исследуются аб-

солютные и относительные показатели, приведенные к определенному периоду или сроку, где объектами мониторинга земель являются природно-территориальные комплексы в границе лицензионного участка и ареалы распространения негативных процессов и явлений. Нарушение почвенно-растительного покрова ведет к увеличению термокарстовых процессов, поэтому помимо антропогенных факторов важно контролировать экзогенные процессы [15, 16].

Таблица 2

Определения рассматриваемых процессов

Наименование процесса	Определение
Загрязнение земель	Процесс, при котором земля или ее поверхностный слой подвергаются воздействию вредных веществ, что приводит к ухудшению качества почвенно-растительного покрова и экосистемы
Нарушение земель	Механическое разрушение почвенного покрова, обусловленное открытыми и закрытыми разработками полезных ископаемых и торфа, строительными и геологоразведочными работами и др.
Деградация земель	Снижение или потеря биологической и экономической продуктивности и сложной структуры земель, орошаемых пахотных земель или пастбищ, лесов и лесистых участков в засушливых, полузасушливых и сухих субгумидных районах в результате землепользования или действия одного или нескольких процессов, в том числе связанных с деятельностью человека и структурами расселения, таких как ветровая и/или водная эрозия почв; ухудшение физических, химических и биологических или экономических свойств почв; долгосрочная потеря естественного растительного покрова
Трансформация земель	Процесс изменения использования земли и ее функций, который может быть вызван как естественными, антропогенными и социально-экономическими, так и иными факторами
Повреждение земель	Прямое воздействие на землю, в результате которого происходит ее физическое, химическое или механическое разрушение
Порча земель	Отравление, загрязнение или иная порча земли вредными продуктами хозяйственной или иной деятельности вследствие нарушения правил обращения с удобрениями, стимуляторами роста растений, ядовитыми химикатами и иными опасными химическими или биологическими веществами при их хранении, использовании и транспортировании, повлекшие за собой причинение вреда здоровью человека или окружающей среде
Определения процессов согласно ГОСТ Р 59055–2020 Земли. Термины и определения	
Обобщенное определение (составленное авторами)	

Детализация комплексной системы показателей для ЛМЗ представлена в табл. 3.

Таблица 3

Комплексная система показателей локального мониторинга земель районов Крайнего Севера на основе данных ДЗЗ из космоса

Наименование показателя	Детализация показателя	
Повреждение (деградация) почвенно-растительного покрова в результате антропогенной деятельности (A) – это процесс ухудшения состояния и потери функциональных свойств почвы и растительности под влиянием деятельности человека в условиях индустриальной активности освоения и обустройства нефтегазовых месторождений		
$A = \sum_{i=1}^n A_i$ $A_i = S(A_i) / S$	(A1)	Площадь механического повреждения почвенно-растительного покрова
	(A2)	Площадь химического загрязнения почвенно-растительного покрова
	(A3)	Площадь захламления территории
Повреждение (деградация) почвенно-растительного покрова в результате природных экзогенных процессов (B) – это процесс ухудшения состояния и функциональных характеристик почвенно-растительного покрова под воздействием внешних природных факторов (осадки, температурный режим, скорость ветра, типы почв и т. д.)		
$B = \sum_{i=1}^n B_i$ $B_i = S(B_i) / S$	(B1)	Площадь территории, подверженной эрозии
	(B2)	Площадь территории, подверженной термокарсту
	(B3)	Площадь территории, подверженной буграм пучения
	(B4)	Площадь заболоченной территории
	(B5)	Другие процессы
Инженерно-инфраструктурное освоение территории (C) – результат деятельности по вовлечению земельных участков в промышленно-хозяйственный оборот на обустраиваемой или обустроенной территории месторождения		
$C = \sum_{i=1}^n C_i$ $C_i = S(C_i) / S$	(C1)	Площадь осваиваемой территории*
	(C2)	Площадь освоенной территории**
	(C3)	Инвентаризация кустовых площадок (кусты эксплуатационных скважин, площадь кустовой площадки)
	(C4)	Инвентаризация факельных установок (площадь под факельной установкой)
	(C5)	Инвентаризация полигонов ТКО (площадь полигона ТКО)
	(C6)	Протяженность наземных линейных объектов (дороги, ЛЭП)
Ограниченность использования земель для традиционного природопользования (D) – доступность и возможность использования земельных ресурсов КМНС		
$D = \sum_{i=1}^n D_i$ $D_i = S(D_i) / S$	(D1)	Заозеренность (площадь заозеренной территории)
	(D2)	Обводненность (площадь обводненной территории)
	(D3)	Состояние оленьих пастбищ (продуктивность, (площадь продуктивных территорий))
	(D4)	Состояние оленьих пастбищ (переуплотнение, перевыпас (площадь территории переуплотнения, перевыпаса))
Показатель смещения земной поверхности (E) – это перемещение участков земли относительно определенной точки или оси, которое может происходить под воздействием природных и антропогенных факторов		
$E = \sum_{i=1}^n E_i$ $E_i = S(E_i) / S$	(E1)	Площадь смещения территории (горизонтальное)
	(E2)	Площадь смещения территории (вертикальное)
*Площадь осваиваемой территории – нефтегазовое месторождение находится в стадии интенсивного промышленного освоения (строительства новых добывающих скважин, кустовых площадок и других объектов). **Площадь освоенной территории – нефтегазовое месторождение находится в стадии эксплуатации, но строительство новых добывающих скважин, кустовых площадок и других объектов не предусмотрено.		

Показатели предлагается рассчитывать в виде коэффициентов как отношение площади повреждения земель к площади исследуемой территории. В результате мы полу-

чаем интегрированный показатель, который рассчитывается на основе определенных математических связей между показателями, полученный в виде суммирования коэффициентов, но если на исследуемой территории наблюдается несколько видов повреждения земель, то в этом случае коэффициенты суммироваться не будут, т. е. будет определяться площадь наложения детализированных показателей (показано в формуле ниже). Авторы допускают, что при апробации предлагаемого подхода и результатов дешифрирования космоснимков для определения состояния земель нужно будет прибегнуть к агрегированию (не тождественен интегрированию, поскольку подразумевает объединение показателей с целью их укрупнения, а это не одно и то же, что и суммирование).

$$A = \frac{S(A1) + S(A2) + \dots + S(Ai) - (S(A1) \cap S(A2) \cap \dots \cap S(Ai))}{S}$$

где  $A$  – коэффициент повреждения (на примере повреждение (деградация) почвенно-растительного покрова в результате антропогенной деятельности);

$S(Ai)$  – площадь детализированного показателя исследуемого повреждения;

$(S(A1) \cap S(A2))$  – наложение площади детализированных показателей;

$S$  – площадь, исследуемой территории.

Далее для оценки определения степени нарушенности территории предлагается каждому показателю, рассчитанному в виде коэффициента, присвоить «веса» ( $w_i$ ), сумма которых равна единице (табл. 4).

Таблица 4

Определения степени нарушенности территории

Наименование	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$
Весовой коэффициент ( $w_i$ )	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$\sum(w_i)$	1				

Для определения показателя можно воспользоваться методическими рекомендациями по оценке качества земель, являющихся

исконной средой обитания коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации (режим доступа: [https://e-ecolog.ru/docs/3L1G\\_wVTCQSuixiM6L-YV](https://e-ecolog.ru/docs/3L1G_wVTCQSuixiM6L-YV)).

Особенностью предлагаемой системы показателей является то, что полученная с ее помощью информация легко генерируется на региональный и федеральный уровень мониторинга земель для составления Государственного (национального) доклада о состоянии и использовании земель в Российской Федерации.

Обсуждение

Процесс создания комплексной системы показателей мониторинга земель предполагает три основных этапа: исследование, разработка с учетом методов ДЗЗ по космическим изображениям и апробация. На каждом из этих этапов обеспечивается интеграция различных источников данных и учет экологических условий региона. Более подробно предлагаем рассмотреть этап разработки комплексной системы с учетом данных ДЗЗ из космоса, а именно разработку технологической схемы организации мониторинга земель Крайнего Севера (рис. 2). В рамках представленной технологической схемы ключевой компонент заключается в подсистеме тематического дешифрирования данных ДЗЗ из космоса для выявления техногенной нарушенности и трансформации земель. Эта подсистема учитывает широкий спектр факторов, связанных с антропогенной нагрузкой на природные системы и изменениями, вызванными деятельностью человека. Не менее значимой является подсистема картографического обеспечения, которая визуализирует пространственные данные и позволяет эффективно отображать информацию. Важную роль в реализации всей системы играет также подсистема геоинформационного обеспечения, выполняющая объединение, геоинформационный анализ и картографирование пространственных данных.

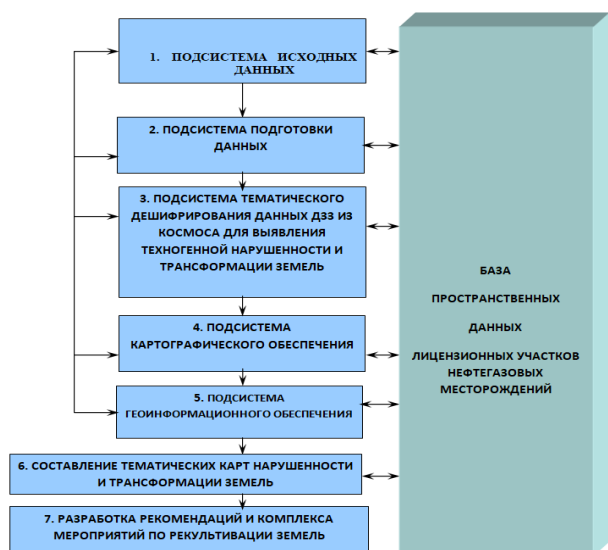


Рис. 2. Общая технологическая схема мониторинга земель лицензионных участков нефтегазовых месторождений Крайнего Севера с применением данных ДЗЗ из космоса

Представленные выше подсистемы обеспечат создание тематического продукта на основе автоматизированного дешифрирования космических изображений и формирования картографической, а также базы пространственных и атрибутивных данных лицензионных участков нефтегазовых месторождений, что даст возможность формирования тематических слоев о состоянии исследуемых территорий.

Заключительный этап предложенной организации мониторинга земель включает в себя разработку рекомендаций и комплекса мероприятий, направленных на рекультивацию нарушенных земель. Такое предложение

позволит создать более интегрированный и многоуровневый подход к анализу и управлению земельными ресурсами в одном из самых уязвимых и стратегически важных регионов России, а результаты исследований будут представлены в следующих статьях.

### Заключение

Активная разработка углеводородных ресурсов в сложных природно-климатических условиях приводит к деградации экосистем и загрязнению почв. Существующая система мониторинга земель, основанная на традиционных методах, неэффективна для данных регионов, так как не учитывает специфические климатические и геологические условия и особенности хозяйственной деятельности. Использование данных ДЗЗ из космоса становится важным инструментом для мониторинга состояния земель, позволяя отслеживать изменения в реальном времени и проводить ретроспективный анализ. Для эффективного мониторинга земель на Крайнем Севере необходимо применять комплексный подход, учитывающий климатические, геолого-экологические и антропогенные факторы. Выбор ключевых показателей для разработки системы мониторинга является критически важным для понимания экологической ситуации и принятия оперативных решений по управлению земельными ресурсами. Предложенная система показателей должна стать основой для методологии локального мониторинга земель Крайнего Севера с использованием данных ДЗЗ из космоса.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сумина О. И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России. – СПб. : Информ-Навигатор, 2013. – 340 с. – EDN WARRFN.
2. Аврунев Е. И., Уставич Г. А., Грекова А. О. [и др.]. Технологические решения в области обеспечения геопространственной информации о магистральных трубопроводах и объектах их инфраструктуры // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 7. – С. 188–201. – DOI 10.18799/24131830/2020/7/2729. – EDN MDEEKK.
3. Тихановский А. Н. Проблемы и методы биологической рекультивации техногенно нарушенных земель Крайнего Севера // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 2. – С. 43–47. – EDN YNTMZH.
4. Емельянова Т. А. Рациональное использование и охрана земель северных территорий Российской Федерации: экономика и организация: дис. д-ра экон. наук: 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» – Емельянова Татьяна Алексеевна. – 2006. – 431 с.

5. Баранов А. В., Григорьев В. Я., Якушев Н. Л., Унанян К. Л. Деградация и охрана почв в районах освоения месторождений углеводородов Крайнего Севера // Георесурсы, геознергетика, геополитика. – 2010. – № 2 (2). – С. 6. – EDN SIKWPB.
6. Ананко Т. В. Почвенно-ландшафтные особенности Севера Средней Сибири (по материалам дешифрирования космических снимков) // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2014. – № 75. – С. 83–105. – EDN SNECHP.
7. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов: (ландшафтно-геохимические процессы) : учебное пособие. – М. : Географический факультет МГУ, 2007. – 350 с. – EDN QKGIJP.
8. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / Под общ. ред. С. А. Шобы, А. С. Яковлева, Н. Г. Рыбальского. – М. : НИА-Природа, 2013. – 310 с.
9. Ананко Т. В., Герасимова М. И., Конюшков Д. Е. Арктические и тундровые почвы на новой цифровой почвенной карте России масштаба 1:2,5 млн // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2020. – Вып. 101. – С. 46–75. – DOI 10.19047/0136-1694-2020-101-46-75.
10. Кустышева И. Н., Беленко В. В. Проблемные вопросы локального мониторинга земель территорий традиционного природопользования при оценке воздействия нефтегазовых месторождений (на примере Ханты-Мансийского автономного округа – Югры) // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 10. – С. 56–64. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-56-64. – EDN GNGWOE.
11. Волкодаева М. В., Володина Я. А., Ломтев А. Ю., Носков С. Н. О необходимости развития системы экологического мониторинга окружающей среды Крайнего Севера // Российская Арктика. – 2019. – № 6. – С. 37–43. – DOI 10.24411/2658-4255-2019-10065. – EDN WFCWJA.
12. Пузанов А. В., Дрост Г. И., Кириллов В. В. [и др.]. Комплексный мониторинг озер Центрального Ямала на основе использования многоспектральных данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. – Т. 21, № 1. – С. 308–322. – DOI 10.21046/2070-7401-2024-21-1-308-322. – EDN TROGRJ.
13. Горбачев В. Н., Бабинцева Р. М. Экологический мониторинг земель : учебное пособие. – Ульяновск : УлГУ, 2006. – 109 с.
14. Верхотуров А. А., Мелкий В. А., Долгополов Д. В., Лисицкий Д. В. Мониторинг изменения состояния растительного покрова на участке трассы трубопровода проекта «Сахалин-2» по данным космических съемок // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 45–53. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-45-53. – EDN AROBFE.
15. Дубровский А. В., Кустышева И. Н. Методическое и технологическое обеспечение рационального землепользования при добыче углеводородов с учетом региональных особенностей Крайнего Севера // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 3 (35). – С. 128–138. – EDN XUYYFD.
16. Скрыльник Г. П. Термокарст как фактор разрушения и созидания в развитии геосистем юга Средней Сибири и Дальнего Востока // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 11-2. – С. 425–436.

### Об авторах

*Ирина Николаевна Кустышева* – кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

*Виктор Владимирович Беленко* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры космического мониторинга и экологии.

*Виктор Николаевич Москвин* – доктор технических наук, профессор кафедры кадастра и территориального планирования.

*Наталья Григорьевна Мартынова* – кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Получено 12.12.2024

© И. Н. Кустышева, В. В. Беленко, В. Н. Москвин, Н. Г. Мартынова, 2025

## Indicator-based local monitoring system for land in Far North oil and gas license sites

I. N. Kustysheva<sup>1✉</sup>, V. V. Belenko<sup>2</sup>, V. N. Moskvina<sup>3</sup>, N. G. Martynova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

<sup>2</sup>Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: kustyshevain@tyuiu.ru

**Abstract.** The authors explore the vital role of satellite remote sensing data in the contemporary monitoring and evaluation of land and natural resources within the harsh and complex environment of the Far North. The unique climatic, ecological, and anthropogenic factors in this region necessitate meticulous attention to resource utilization and conservation. The primary objective of the study is to develop a comprehensive system of environmental indicators derived from satellite data that objectively assess the state and temporal dynamics of natural environments in licensed oil and gas production sites characterized by significant human impact. Special emphasis is placed on incorporating considerations for the traditional land use practices of indigenous, numerically small populations in these regions. A thorough review of existing scientific literature suggests that an effective indicator-based monitoring system must integrate a broad array of parameters and indices to fully characterize environmental changes in northern ecosystems. The authors propose a detailed indicator framework and highlight several detrimental processes currently inadequately defined or regulated in existing policy frameworks. Addressing these gaps is crucial for informed decision-making and effective management of the Far North's natural resources, ensuring sustainable development aligned with environmental protection imperatives.

**Keywords:** Far North regions, licensed sites, oil and gas production, land monitoring, system of indicators

### REFERENCES

1. Sumina, O. I. (2013). *Vegetation formation in technogenic habitats of the Far North of Russia. [Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu "Inform-Navigator"]*. St. Petersburg : Inform Navigator Limited Liability Company. (340 p). – EDN WARRFN [in Russian].
2. Avrunev E. I., Ustavich G. A., Grekova A. O. et al. (2020). Technological solutions in the field of providing geospatial information about main pipelines and their infrastructure facilities. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering]*. 331(7) (pp. 188-201). DOI 10.18799/24131830/2020/7/2729. EDN MDEEKK [in Russian].
3. Tikhanovsky, A. N. (2017). Problems and methods of biological reclamation of technogenically disturbed lands of the Far North *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. [Successes of modern natural science]*. 2 (pp. 43–47). EDN YHTMZH [in Russian].
4. Yemelyanova T. A. (2006). Rational use and protection of the lands of the northern territories of the Russian Federation: economics and organization. dis. Dr. of Economics. 431 p. [in Russian].
5. Baranov A. V., Grigoriev V. Ya., Yakushev N. L., Unanyan K. L. (2010). Degradation and protection of soils in the areas of development of hydrocarbon deposits in the Far North *Georesursy, geoenergetika, geopolitika. [Geo-resources, geo-energy, geopolitics]*. 2(2). – P. 6. – EDN SIKWPB [in Russian].
6. Ananko, T. V. (2014). Soil and landscape features of the North of Central Siberia (based on the materials of decoding satellite images). *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. [Bulletin of the Soil Institute named after. V.V. Dokuchaeva]* (75). Pp. 83–105. EDN SNECHP [in Russian].

7. Glazovskaya, M. A. (2007). Geochemistry of natural and man-made landscapes : (landscape-geochemical processes) : a textbook for students studying in the specialties 020401 - Geography and 020804 - Geoecology. [Moskva: Geograficheskij fakul'tet MGU]. Moscow State University named after M. V. Lomonosov. Moscow : Faculty of Geography, Moscow State University. (350 p.) – EDN QKGIJP [in Russian].
8. Shoba S. A., Yakovlev A. S., Rybalsky N. G. (2013). Environmental regulation and quality management of soils and lands. [NIA-Priroda]. Under the general editorship of. (310 p.) [in Russian].
9. Ananko T. V., Gerasimova M. I., Konyushkov D. E. (2020). Arctic and tundra soils on the new digital soil map of Russia scale 1 : 2.5 million. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva* [Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute]. 101 (pp. 46–75). DOI 10.19047/0136-1694-2020-101-46-75 [in Russian].
10. Kustysheva, I. N., Belenko V. V. (2023). Problematic issues of local monitoring of lands of territories of traditional nature management in assessing the impact of oil and gas fields (on the example of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra). [Geodeziya i kartografiya]. *Geodesy and cartography*. 84(10). (Pp. 56–64). DOI 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-56-64. EDN GNGWOE [in Russian].
11. Volkodaeva M. V., Volodina Ya. A., Lomtev A. Yu, Noskov S. N. (2019). On the need to develop a system of environmental monitoring of the environment of the Far North. *Rossiyskaya Arktika*. [Russian Arctic]. 6. (Pp. 37–43). DOI 10.24411/2658-4255-2019-10065. EDN WFCWJA [in Russian].
12. Puzanov A. V., Drost G. I., Kirillov V. V. et al. (2024). Integrated monitoring of the lakes of Central Yamal based on the use of multispectral data *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 21(1). (Pp. 308–322). – DOI 10.21046/2070-7401-2024-21-1-308-322. EDN TROGRJ [in Russian].
13. Gorbachev V. N., Babintseva R. M., (2006). Environmental monitoring of lands: A textbook on environmental monitoring of lands for students and postgraduates of the specialties “Ecology”, “Nature management”, “Soil Science” *Ul'yanovsk: UIGU*. [Ul'yanovsk.] [in Russian].
14. Verkhoturov A. A., Melky V. A., Dolgoplov D. V., Lisitsky D. V. (2022). Monitoring of changes in the state of vegetation cover on the section of the pipeline route of the Sakhalin-2 project according to space surveys. *Vestnik [Vestnik SSUGT]* 27(4). (Pp. 45–53). DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-45-53. EDN AROBFE [in Russian].
15. Dubrovsky, A. V., Kustysheva I. N. (2016). Methodological and technological support of rational land use in the extraction of hydrocarbons, taking into account the regional characteristics of the Far North. *Vestnik [Vestnik SSUGT]* 3(35). (Pp. 128–138). EDN XUYFDF [in Russian].
16. Skrylnik G. P. (2018). Thermokarst as a factor of destruction and creation in the development of geosystems in the south of Central Siberia and the Far East. [Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya]. The successes of modern natural science. 11(2). (Pp. 425–436). Retrieved from <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36964> (date of application: 10.25.2024) [in Russian].

### Author details

*Irina N. Kustysheva* – Ph. D., Associate Professor of the Department of Geodesy and Cadastral Activity.

*Viktor V. Belenko* – D. Sc., Associate Professor, Professor of the Department of Space Monitoring and Ecology.

*Victor N. Moskvina* – D. Sc., Professor, Department of Cadastre and Territorial Planning.

*Natalya G. Martynova* – Ph. D., Associate Professor of the Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Received 12.12.2024

© I. N. Kustysheva, V. V. Belenko, V. N. Moskvina, N. G. Martynova, 2025

УДК 349.417/.418

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-122-129

## О совершенствовании модели кадастрового учета и государственной регистрации прав на основании судебных актов

С. В. Ларин<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: mr.larin.sergey@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается актуальная тема анализа действующей модели кадастрового учета и государственной регистрации прав на недвижимость на основании судебных актов. Основная проблема заключается в длительности судебного разбирательства в России и происходящих за это время изменениях в реестре объектов Единого государственного реестра недвижимости, что зачастую делает неисполнимым судебный акт. Она вызвана недостаточной координацией между судебной системой и системой кадастрового учета, а также отсутствием должного уровня автоматизации со стороны информационной системы ГАС «Правосудие». Целью исследования является комплексный анализ текущей модели и разработка предложений по ее усовершенствованию. Для достижения цели применялись общенаучные методы анализа и синтеза, а также специальные юридические и технические методы. В результате исследования автор предлагает новую модель, ключевыми элементами которой являются цифровизация процессов верификации представленных в суд материалов на момент принятия решения, интеграция открытых сервисов федеральной государственной географической информационной системы «Единая цифровая платформа «Национальная система пространственных данных» в систему ГАС «Правосудие».

**Ключевые слова:** недвижимость, модель, кадастровый учет, государственная регистрация прав, судебный акт, совершенствование

### Для цитирования:

Ларин С. В. О совершенствовании модели кадастрового учета и государственной регистрации прав на основании судебных актов // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 122–129. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-122-129

### Введение

Государственный кадастровый учет и государственная регистрация прав на недвижимость являются одними из ключевых институтов в сфере имущественных отношений. Этой теме посвящено множество научных работ, среди которых можно выделить труды таких авторов, как Е. И. Аврунев и М. Ф. Дорош [1, 2], А. В. Дубровский [3], А. П. Сизов, А. М. Жилкин, А. О. Куприянов, Д. А. Морозов. Несмотря на активное развитие системы государственного кадастрового учета и связанной с ним системы регистрации в последние десятилетия, остается ряд нерешенных

проблем и вопросов, требующих детального изучения. В частности, особого внимания заслуживает роль судебных актов в процессе государственного кадастрового учета и регистрации прав на недвижимое имущество. Целью данной статьи является анализ существующей модели кадастрового учета и (или) государственной регистрации прав на основании судебных актов.

### Обсуждение

Государственный кадастровый учет в настоящее время может осуществляться одновременно или порознь с государственной

регистрацией прав. В связи с этим модели государственной регистрации прав на основании судебного акта и кадастровый учет на основании судебного акта могут отличаться (когда производятся раздельно) [1]. В настоящей статье будут рассмотрены только вопросы государственного кадастрового учета.

Основные проблемы современного государственного кадастрового учета на основании судебного акта отражены в рис. 1.

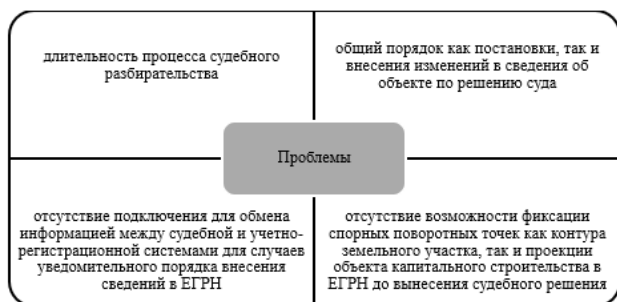


Рис. 1. Проблемы современного кадастрового учета на основании судебного акта

Современная модель предполагает общий порядок постановки на кадастровый учет либо изменение сведений кадастрового учета содержащихся в ЕГРН разделов, открытых на объекты недвижимости, на основании судебного акта по заявлению ограниченного круга лиц и при наличии сведений об уплате государственной пошлины в государственной информационной системе о государственных и муниципальных платежах (ГИС ГМП).

Исключение составляет, во-первых, порядок исполнения решения суда, вынесенного в процессе обжалования действий органа государственной регистрации недвижимости в рамках рассмотрения административного искового заявления, в порядке, предусмотренном Кодексом административного судопроизводства Российской Федерации (КАС РФ), и признающего приостановление государственного кадастрового учета после решения апелляционной комиссии (ст. 26.1 О государственной регистрации недвижимости: федеральный закон от 13.07.2015 №218-ФЗ. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182661/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/). – Текст : электронный), либо решение такой комиссии, либо

если решение суда в резолютивной части содержит обязанность выполнить определенные действия органом государственной регистрации недвижимости [4]. Для осуществления учетно-регистрационных действий по таким решениям суда не требуются ни заявление, ни государственная пошлина. В данном случае орган регистрации недвижимости выступает административным ответчиком и обязан исполнить судебное решение как лицо, участвующее в деле (в том числе и в случае его привлечения вторым административным ответчиком) [5].

Во-вторых, процедура исполнения судебных актов, поступивших в порядке межведомственного информационного взаимодействия (части 12, 13 и 13.1 ст. 32 О государственной регистрации недвижимости: федеральный закон от 13.07.2015 №218-ФЗ. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182661/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/). – Текст : электронный) и содержащих информацию о принятии обеспечительных мер в виде ареста или запрета либо информации о признании за гражданином специального статуса (недееспособный, ограниченно дееспособный или банкрот). Такие судебные акты, как правило, не затрагивают вопросы кадастрового учета и не являются предметом рассмотрения в рамках данной статьи.

Процесс начинается с подачи иска в суд, где собственник объекта недвижимости требует защиты своих прав. Если суд признает иск обоснованным, выносится решение, которое становится основанием для внесения изменений в кадастровый учет, если в таком решении содержатся необходимые данные для государственного кадастрового учета, либо изменений в сведения кадастрового учета, произведенного ранее. Если же в решении необходимых данных нет, то такое решение не может быть исполнено без кадастровых работ. В этом случае решение суда, вступившее в законную силу, будет основанием для подготовки соответствующего документа (межевого плана, технического плана, акта обследования, карты-плана либо карты (плана) территории), на основании которого в дальнейшем будут осуществляться учетные действия.

Современную модель учетно-регистрационных действий на основании судебного акта можно представить в схеме на рис. 2.

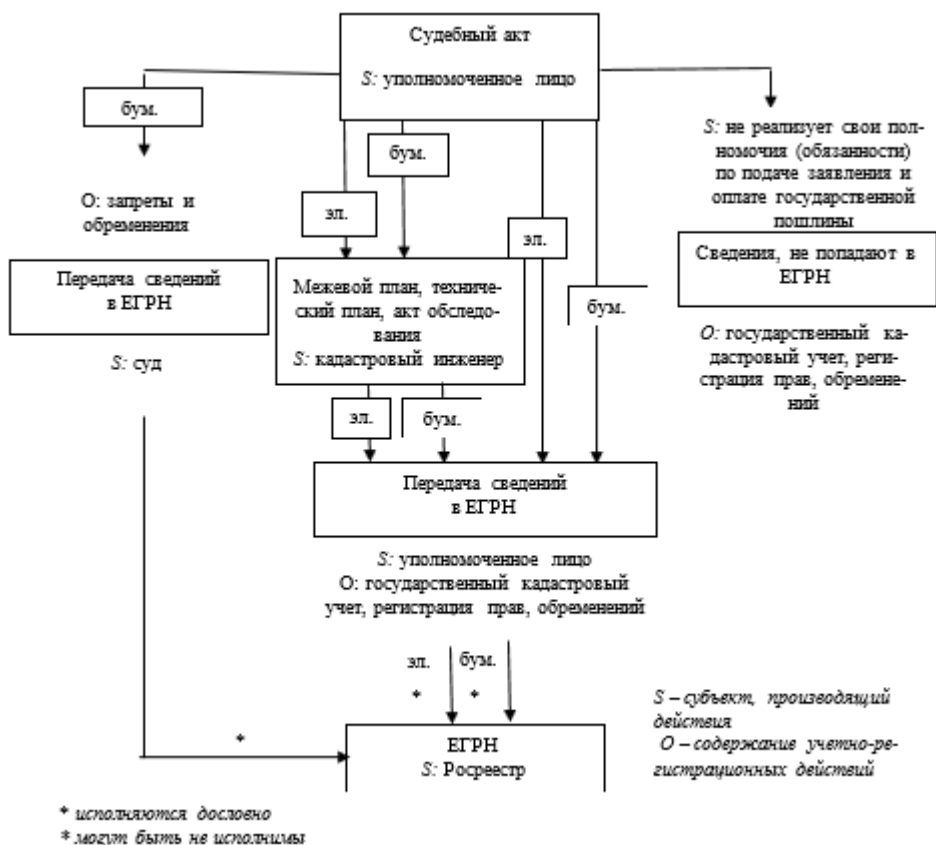


Рис. 2. Современная модель учетно-регистрационных действий на основании судебного акта

Описать схему можно следующим образом: суд издает три группы судебных актов. Часть из них передается судом в рамках межведомственного информационного взаимодействия в Росреестр для внесения сведений в ЕГРН. Такие сведения должны передаваться в электронной форме, но на текущий момент направляются судом на бумажных носителях.

Вторая группа судебных актов передается в Росреестр заинтересованным лицом, при этом может присутствовать обращение к кадастровому инженеру, а может отсутствовать в зависимости от содержания судебного акта и того, какие учетно-регистрационные действия необходимо произвести. Часть актов не попадает в орган регистрации или попадает с нарушением предусмотренного законодательством порядка ввиду недобросовестности (нежелание платить налоги или иных соображений) либо искаженного мировоззрения (считает, что решение суда должно автоматически исполняться безотносительно требований законодательства) заинтересованного лица.

Третья группа исполняется (за исключением случаев неисполнимых решений суда) без участия заинтересованного лица, когда такое решение обязывает произвести какие-либо действия (в том числе по государственному кадастровому учету) орган регистрации недвижимости, либо признает решение органа незаконными.

Содержание текущей информационной модели кадастрового учета заключается в том, что она основывается на правовой обеспеченности решений суда и прозрачности их исполнения. Данная модель подчеркивает важность законности и точности данных, поскольку любые изменения в кадастре должны быть юридически обоснованы и документально подтверждены.

Плюсы данной модели заключаются в юридической силе судебных актов, которые гарантируют защиту прав граждан [6]. Судебные акты устраняют правовые неопределенности и обеспечивают возможность завершить процедуру при недостаточности имеющейся документации. Это создает условия

для правовой уверенности, что в свою очередь повышает доверие к системе кадастрового учета и регистрации прав. Модель государственной регистрации прав на основании судебных актов также играет ключевую роль в обеспечении правовой защиты интересов собственников. Она функционирует аналогично модели государственного кадастрового учета, где судебный акт, вступивший в законную силу, служит основанием для внесения записей в реестр прав ЕГРН. Государственная регистрация становится обязательной для признания прав на недвижимое имущество и обеспечивает учет и подтверждение прав, что минимизирует споры и конфликты между сторонами [7].

Однако наряду с плюсами существуют и минусы. Одной из основных проблем является длительность судебного разбирательства в России и происходящие за это время изменения в реестре объектов Единого государственного реестра недвижимости, что зачастую делает судебный акт неисполнимым.

Важно учитывать, что внесение изменений в государственный кадастр на основании судебных решений должно производиться в строгом соответствии с действующим российским законодательством и только после проверки вступления в законную силу [8] и исполнимости соответствующих судебных актов.

Одна из основных причин данной проблемы связана с распределением компетенции между судебной и кадастровой системами [9]. Суд может вынести решение об изменении записи в кадастре недвижимости либо о необходимости государственного кадастрового учета, но сам процесс внесения этих изменений проводится, как правило, на общих основаниях, по заявлению уполномоченного лица с соблюдением требований к документам органами государственного кадастрового учета [10–12].

Одним из эффективных решений может стать использование сервиса «Градостроительная проработка онлайн» ФГИС ЕЦП НСПД [13] в случае сопоставления сведений в отношении представленных истцом координат на любых стадиях судебного процесса (в том числе и при вынесении окончательного решения) уже сейчас, в действующей модели [14].

Следует отметить, что системы сбора пространственной информации являются международной тенденцией: так, например, Европейский союз решает вопросы пространственного управления посредством директивы Infrastructure for Spatial Information in the European Community – INSPIRE [15], в Республике Беларусь создана Национальная инфраструктура пространственных данных (НИПД), которая имеет аналогичные цели [16].

Другим решением преодоления данной проблемы могут стать законодательные изменения с внедрением механизма передачи в порядке межведомственного взаимодействия или в уведомительном порядке (по аналогии с внесением сведений о заявленном в судебном порядке праве требования и исключением таких сведений) информации о «проектируемых» координатах поворотных точек границ земельных участков или контуров объектов капитального строительства [17] с внесением в основания для приостановления кадастрового учета или единой процедуры при наличии пересечений границ или контуров иных объектов [18] до окончания судебного разбирательства.

Таким образом, можно разработать новую модель кадастрового учета и государственной регистрации прав на недвижимое имущество, основанную на судебных актах, или усовершенствовать действующую. Эта модель будет представлять собой систему, ориентированную на эффективное взаимодействие между судебными инстанциями и органами регистрации с целью оптимизации процесса регистрации прав на основании судебных решений.

В ней будут решены вопросы:

- единой системы для обмена информацией между судебной и учетно-регистрационной системами;
- унификации форм обмена на основании судебных актов [19];
- проверяемости специальных сведений (координаты) [20, 21];
- повышения исполнимости судебных актов до 100 % при осуществлении процедуры сопоставления сведений в отношении представленных координат с помощью ГАС «Правосудие» или иной информационной си-

стемой, интегрированной с сервисами Национальной системы пространственных данных.

В предлагаемой модели кадастрового учета и государственной регистрации прав важным элементом является подтверждение достоверности поданных документов, особенно когда речь идет о судебных актах [22]. Чтобы добиться высокого уровня достоверности, необходимо внедрить многоуровневую систему проверки. В первую очередь следует создать электронные системы, которые позволят автоматически сверять данные, представленные в суд, с информацией, находящейся в ЕГРН [2].

В настоящее время требуется разработка такой модели кадастрового учета и государственной регистрации прав на основании судебных актов, которая учтет необходимость комплексного подхода во всех аспектах.

### Заключение

В результате проведенного исследования проанализирована существующая модель кадастрового учета и государственной регистрации прав на недвижимое имущество на основании судебных актов [22]. Сделан вывод о необходимости усовершенствования существующей или разработки новой модели, которая была бы эффективнее в части устранения основных недостатков существующей системы: длительности процедур и недостаточного уровня автоматизации процессов. Такая модель, предусматривающая формат контроля в НСПД, могла бы учесть концепцию интегрированной системы обмена данными между судебными органами и органами кадастрового учета.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аврунев Е. И., Дорош М. П. Разработка информационной модели для повышения достоверности кадастровой информации // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 156–166.
2. Дорош М. П. Технологический процесс методики повышения качества данных в Едином государственном реестре недвижимости // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 161–170.
3. Дубровский А. В. К вопросу о разработке параметров эффективности кадастровой системы // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 6. – С. 129–139. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-6-129-139.
4. Тарарин А. М. Картографическая основа кадастра: история создания, цели и требования // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 132–141.
5. Акимова К. А. Проблема отсутствия своевременной государственной регистрации перехода права собственности на недвижимость // Флагман науки. – 2023. – № 4 (4). – С. 1071–1074.
6. Токмашева М. А. Способы самозащиты права собственности в новом Законе о регистрации // Научный электронный журнал «Меридиан». – 2020. – № 4 (38). – С. 165–167.
7. Алиева Г. Н. Доказательственная сила нотариального акта по делам (спорам), связанным с регистрацией прав на недвижимое имущество и сделок с ним // Вестник молодых ученых Самарского государственного экономического университета. – 2023. – № 2 (48). – С. 91–93.
8. Канашин Н. В. О некоторых содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости ошибках и способах их устранения // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 113–119. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-113-119.
9. 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.
10. Ключниченко В. Н. Приостановления и отказы в проведении государственного кадастрового учета недвижимого имущества // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 203–211.
11. Ключниченко В. Н., Евсюкова И. Н., Алмагамбетова Д. Т. Изменение законодательства в сфере недвижимого имущества // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 168–176. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-168-176.
12. Ключниченко В. Н., Москвин В. Н., Татаренко В. И. К вопросу о ведении Единого государственного реестра недвижимости в России // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 240–247.

13. Москвин В. Н., Пластинин Л. А., Пархоменко И. В. Современные тенденции развития и перспективы изменений учетно-регистрационной системы // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 6. – С. 134–142. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-134-142.
14. Хлебникова Е. П., Мирошникова О. А. Анализ информационного наполнения публичной кадастровой карты по регионам Российской Федерации // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 2 (34). – С. 127–142.
15. INSPIRE Directive [Electronic resource]. – URL: <https://www.gov.ie/en/publication/5a8e1-inspiredirective/#:~:text=The%20Infrastructure%20for%20Spatial%20Information,an%20impact%20on%20the%20environment>.
16. Губский Г. А., Колмыков А. В. Трансформация земельного администрирования Республики Беларусь с учетом влияния мегатенденций и становления национальной инфраструктуры пространственных данных // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 3. – С. 174–179.
17. Максименко Л. А. Сбор и обработка кадастровой информации в сфере управления недвижимым имуществом // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 1. – С. 118–126. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-118-126.
18. Дудинова О. С. Основные подходы к формированию сведений об едином недвижимом комплексе в учетно-регистрационной системе объектов недвижимости // Вестник СГУГиТ – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 193–200.
19. Подмаркова Е. Р. Проблемы правоприменительной практики государственной регистрации недвижимости // Современный взгляд на науку и образование : сб. ст. – 2020. – С. 247–248.
20. Антипов И. Т., Антонович К. М., Асташенков Г. Г., Вылегжанина В. В., Гиниятов И. А. О некоторых результатах выявления реестровых ошибок, препятствующих государственной регистрации прав // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 143–152.
21. Лелюхина А. М., Миклашевская О. В., Афанасьева О. Е. Ретроспективный анализ этапов развития единой учетно-регистрационной системы недвижимости в России // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 1. – С. 108–117.
22. Терчиев Э. Ш. Особенности регистрации прав собственности на недвижимое имущество // Научный Лидер. – 2023. – № 7 (105). – С. 49–51.

### **Об авторах**

*Сергей Владимирович Ларин* – аспирант.

Получено 02.09.2025

© С. В. Ларин, 2025

### **Enhancing the model for cadastral and state registration of rights using judicial acts**

*S. V. Larin*<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: [mr.larin.sergey@mail.ru](mailto:mr.larin.sergey@mail.ru)

**Abstract.** The author examines the current model of cadastral and state registration of real estate rights in the context of judicial acts, addressing critical challenges within this system. A primary concern is the prolonged duration of court proceedings in Russia, during which changes occur in the Unified State Register of Real Estate rendering court rulings unenforceable. This issue stems from limited coordination between the judicial and cadastral systems compounded by inadequate automation within the State

Automated System "Justice" (GAS Pravosudie). The study aims to conduct a comprehensive analysis of the existing model and propose targeted improvements. Employing a combination of general scientific methods, including analysis and synthesis, alongside specialized legal and technical methodologies, the research identifies pathways for enhancement. The proposed model emphasizes digitizing the verification process of court-submitted materials at the time decisions are made, alongside integrating open services from the federal geographic information system "Unified Digital Platform 'National Spatial Data System'" into the State Automated System "Justice".

**Keywords:** real estate, model, cadastral registration, state registration of rights, judicial act, improvement

## REFERENCES

1. Avrunev, E. I., Dorosh, M. P. (2018). The development of an information model to increase the reliability of cadastral information *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 23. No. 1. Pp. 156–166 [in Russian].
2. Dorosh, M. P. (2017). Technological process of data quality improvement methodology in the Unified State Register of Real Estate *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 22, No. 3. Pp. 161–170 [in Russian].
3. Dubrovsky, A. V. (2021). On the issue of the development of parameters of the effectiveness of the cadastral system *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 26. No. 6. Pp. 129–139 [in Russian].
4. Tararin A. M. (2017). Cartographic basis of the cadastre: history of creation, goals and requirements *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 22. No. 1. Pp. 132–141 [in Russian].
5. Akimova, K. A. (2023). The problem of the lack of timely state registration of the transfer of ownership of real estate *Flagman nauki [Flagship of Science]*. № 4 (4). Pp. 1071–1074 [in Russian].
6. Tokmasheva, M. A. (2020). Ways of self-protection of property rights in the new Law on registration *Nauchnyy elektronnyy zhurnal Meridian [Scientific electronic journal Meridian]*. № 4 (38). Pp. 165–167 [in Russian].
7. Alieva, G. N. (2023). Evidentiary value of a notarial act in cases (disputes) related to registration of rights to immovable property and transactions with it. *Vestnik molodykh uchenykh Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Vestnik of Young Scientists of Samara State University of Economics]*. № 2 (48). Pp. 91–93 [in Russian].
8. Kanashin, N. V. (2023). On some errors contained in the unified state register of real estate and ways to eliminate them *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 28. No. 2. Pp. 113–119 [in Russian].
9. Gura, D. A. (2024). Urban planning zoning in the task of information support for cadastral works on the lands of settlements *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 29. No. 5. Pp. 137–147 [in Russian].
10. Klyushnichenko, V. N. (2018). Suspensions and refusals to conduct state cadastral registration of real estate *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 23. No. 4. Pp. 203–211 [in Russian].
11. Klyushnichenko, V. N., Evsyukova, I. N., Almagambetova, D. T. (2024). Changes in legislation in the field of real estate *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* – Vol. 29. No. 3. Pp. 168–176 [in Russian].
12. Klyushnichenko, V. N., Moskvina, V. N., Tatarenko, V. I. (2018). On the issue of maintaining the unified State register of real estate in Russia *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 23. No. 3. Pp. 240–247 [in Russian].
13. Moskvina, V. N., Plastinin, L. A., Parkhomenko, I. V. (2024). Current development trends and prospects for changes in the accounting and registration system *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 29. No. 6. Pp. 134–142 [in Russian].
14. Khlebnikova, E. P., Miroshnikova, O. A. (2016). Analysis of the information content of the public cadastral map by regions of the Russian Federation *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* № 2 (34). Pp. 127–142 [in Russian].

15. INSPIRE Directive Retrieved from <https://www.gov.ie/en/publication/5a8e1-inspiredirective/#:~:text=The%20Infrastructure%20for%20Spatial%20Information,an%20impact%20on%20the%20environment> [in Russian].
16. Gubskiy, G. A., Kolmykov, A. V. (2022). Transformation of land administration of the Republic of Belarus taking into account the influence of megatrends and the formation of the national spatial data infrastructure *Vestnik belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Vestnik of the Belarusian State Agricultural Academy] No. 3. P. 174–179 [in Russian].
17. Maksimenko, L. A. (2024). Collection and processing of cadastral information in the field of real estate management *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT] – Vol. 29. No. 1. Pp. 118–126 [in Russian].
18. Dudinova, O. S. (2017). Basic approaches to the formation of information about a single immovable complex in the accounting and registration system of real estate objects *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT] Vol. 22. No. 2. Pp. 193–200 [in Russian].
19. Podmarkova E. R. (2020). Problems of law enforcement practice of state registration of real estate *Sovremennyy vzglyad na nauku i obrazovaniye: sb. st* [Modern view on science and education: collection of articles] pp. 247–248 [in Russian].
20. Antipov, I. T., Antonovich, K. M., Astashenkov, G. G., Vylegzhanina, V. V., Giniyatov, I. A. (2018). On some results of the identification of registry errors that hinder the state registration of rights *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT] Vol. 23. No. 2. Pp. 143–152 [in Russian].
21. Lelyukhina, A. M., Miklashevskaya, O. V., Afanasyeva, O. E. (2024). A retrospective analysis of the stages of development of the unified accounting and registration system of real estate in Russia *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT] Vol. 29. No. 1. Pp. 108–117 [in Russian].
22. Terchiev, E. Sh. (2023). Features of registration of ownership rights to real estate // *Nauchnyy Lider* [Scientific Leader]. № 7 (105). Pp. 49–51 [in Russian].

#### Author details

Sergey V. Larin – Ph. D. Student.

Received on 09.02.2025

© S. V. Larin, 2025

УДК 528.44:528.9

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-130-141

## Эволюция кадастровых сервисов в России: от публичной кадастровой карты к Национальной системе пространственных данных

Е. Л. Уварова<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,  
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Российская Федерация

e-mail: katrinka-66@mail.ru

**Аннотация.** В связи с переходом в конце 2024 г. информационного сервиса «Публичная кадастровая карта» (ПКК) на платформу Национальной системы пространственных данных возникла необходимость сравнительного анализа основных характеристик прежде существовавшего и обновленного сервиса. Целью работы в этой связи стал сравнительный анализ трансформации сервиса ПКК. В статье представлен исторический обзор развития указанного сервиса со времени его появления в 2010 г. Исследованы изменения в интерфейсе и наполнении сервиса, проанализированы удобства работы с ним. Выделенные изменения охарактеризованы с позиций двух групп пользователей: рядовых граждан и специалистов – профессиональных пользователей (кадастровых инженеров, специалистов по недвижимости, риелторов, оценщиков и т. д.). Соответственно выделены положительные стороны изменений, ряд изменений отнесен к негативным. Представленные результаты проведенного анализа будут полезны при разработке рекомендаций по дальнейшему совершенствованию портала Национальной системы пространственных данных.

**Ключевые слова:** сервис, «Публичная кадастровая карта», Национальная система пространственных данных, интерфейс, сравнительный анализ

### Для цитирования:

Уварова Е. Л. Эволюция кадастровых сервисов в России: от публичной кадастровой карты к Национальной системе пространственных данных // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 130–141. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-130-141

### Введение

В связи с необходимостью реализации получения информации о земельных участках и иных объектах недвижимости в режиме «одного окна» в конце 2024 г. сервис «Публичная кадастровая карта» был перемещен на платформу Национальной системы пространственных данных (НСПД).

Интеграция данных Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) с данными других информационных ресурсов является значительным шагом в развитии цифрового управления земельными и иными ресурсами. Улучшение работы общедоступных сервисов напрямую влияет на экономическую активность как юридических, так и физических

лиц. Модернизация электронных фондов является частью глобального тренда цифровизации государственных услуг. Анализ таких изменений помогает оценить эффективность внедрения нововведений.

Функционирование сервиса «Публичная кадастровая карта» неоднократно подвергалось анализу со стороны различных производственных и научных коллективов. На ранних стадиях внедрения сервиса специалисты из компании DATA+ неоднократно приводили качественный анализ вносимых в публичную кадастровую карту усовершенствований [1, 2]. В период с 2015 по 2017 гг. исследователями из Сибирского государственного университета геосистем и технологий Е. П. Хлебниковой и О. А. Мирошниковой

опубликован ряд работ, посвященных анализу функционирования сервиса. Авторы подчеркивали неполноту и неактуальность сведений из кадастра недвижимости и реестра прав в то время. В качестве рекомендаций по усовершенствованию предлагали использовать данные дистанционного зондирования Земли для проведения работ по корректировке сведений об объектах недвижимости, а также настроить обновление публичной кадастровой карты в режиме реального времени (т. е. при внесении изменений в государственные реестры) [3–5]. Специалисты из государственного университета по землеустройству О. Б. Мезенина, З. Я. Нагимов, М. В. Кузьмина, В. Ю. Кравченко, О. В. Зуева в своей работе о проблемах функционирования публичной кадастровой карты подчеркнули низкую скорость загрузки карты и наличие большого количества ошибок в ее сведениях [6]. Кадастровый инженер М. А. Нестеренко, анализируя ПКК, в качестве ее несовершенств отмечал несвоевременность обновления кадастровой информации, недостоверность сведений (сведения в ЕГРН и ППК различаются), низкую скорость загрузки карты. В качестве предложений автор рекомендовал дифференцированно отображать данные об удельной кадастровой стоимости земельных участков с привязкой к категории земель [7].

Вопросы совершенствования наполнения публичной кадастровой карты в связи с решением прикладных задач исследовали также ученые из государственного университета по землеустройству. Так, например, Ю. С. Снина, М. Ю. Толмачев, Д. А. Бирюков предлагали заносить на ПКК в качестве дополнительных сведений данные поисковых отрядов о местах боевых сражений времен Великой Отечественной войны [8].

Необходимость интеграции данных публичной кадастровой карты и сведений из других источников подчеркивается многими отечественными учеными. А. В. Пылаева и О. В. Кольченко рекомендовали для повышения качества кадастровой оценки усовершенствовать информационное взаимодействие между Росреестром и Росстатом [9].

Еще один авторский коллектив из Сибирского университета геосистем и технологий,

анализируя тенденции и перспективы развития учетно-регистрационной системы, подчеркивал роль публичной кадастровой карты как стандартного источника пространственных данных. Авторы фиксировали возрастающий интерес со стороны государственных органов к информации о земельных и иных ресурсах страны из различных источников и, соответственно, необходимости ее сопоставления [10].

Тенденции, направленные на снижение дублирования информации о земельных ресурсах в различных источниках, повышение доступности и качества геоданных и т. д. свойственны не только нашей стране. Белорусские ученые подчеркивают необходимость качественного земельного администрирования через Национальную инфраструктуру пространственных данных Республики Беларуси [11].

Европейский союз еще в 2007 г. инициировал внедрение INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) – единой концепции инфраструктуры пространственных данных [12]. Стандарты INSPIRE регламентируют вид, содержание и место размещения данных о земельных ресурсах различных стран, в то время как разный уровень экономического благосостояния стран определяет качество реализации данной директивы. Так, польские ученые отмечают, что директива INSPIRE не охватывает все сферы интересов, где необходимы пространственные данные, а значит, абсолютное единство в наборе данных различных стран отсутствует [13].

Оценка интеграции пространственной информации в одном сервисе интересует также и ученых из Южной Кореи. В своей исследовательской работе они анализируют опыт работы Национального портала инфраструктуры пространственных данных, который вместил в себя 67 278 наборов пространственных данных из 205 специализированных агентств. При этом особое внимание корейским правительством уделяется онлайн-взаимодействию заинтересованных лиц с органами власти через Национальный портал и возможности онлайн-консультирования по поводу использования пространственной информации [14].

Интегрирование сервиса «Публичная кадастровая карта» в Национальную систему пространственных данных является актуальным и своевременным шагом на пути к обеспечению устойчивого развития Российской Федерации. В связи с этим возникает необходимость комплексного анализа изменений сервиса «Публичная кадастровая карта» с целью выявления преимуществ и потенциальных рисков его функционирования, что позволит оптимизировать процесс использова-

ния пространственных данных в системе государственного управления земельными и иными ресурсами.

### Методы и материалы

В 2018 г. автор статьи совместно с В. А. Павловой проводил исследование по выявлению предпосылок развития кадастровых систем и международных инициатив, краткий анализ которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

Анализ международных инициатив развития кадастровых систем

Предпосылки развития кадастровых систем	Международные инициативы развития кадастровых систем	
	Кадастр 2014	Кадастр 2034
Прогресс в информационных технологиях	Автоматизация и централизация кадастрового учета	Внедрение технологий трех- и четырехмерного моделирования и визуализации
Глобализация		Обновление данных в реальном времени
	Рост роли государства при контроле над проведением учетно-регистрационных действий	Совместимость региональных и национальных кадастровых систем
Повышение профессионального уровня специалистов	Создание профессиональных сообществ специалистов	Применение единых глобальных стандартов
Рост количества и качества географических и геодезических данных	Развитие рынка пространственных данных	
Развитие геоинформационных систем (ГИС)	Внедрение ГИС	Наполнение кадастровых систем дополнительными сведениями для эффективного управления земельными ресурсами
Интерес в сведениях как государства, так и физических и юридических лиц	Объединение процедур кадастрового учета, регистрации прав и картографической деятельности	Учет объектов собственности как земельно-имущественных комплексов

В результате исследования [15] было доказано, что изменения российской кадастровой системы к 2018 г. соизмеримы с мировыми инициативами «Кадастра 2014». Также авторы работы подчеркнули, что «мировые тенденции развития кадастровых систем, в части наполнения и использования, в конечном итоге являются более технологичным вариантом существовавшей в СССР системы землеустройства», которая была направлена на всеобщий учет земельных ресурсов и их основных характеристик и обеспечение рационального использования всего земельного фонда страны. Включение публичной кадастровой карты в НСПД в 2024 г. способствует

наполнению кадастровых систем дополнительными сведениями для эффективного управления земельными ресурсами. Сама же платформа НСПД и ее технологические решения положены в основу геопортала инфраструктуры пространственных данных государств-участников СНГ, создание которого инициировано Межгосударственным советом по геодезии, картографии, кадастру и дистанционному зондированию Земли в 2021 г. Последнее также отражает предпосылки глобализации в развитии кадастровых систем.

При анализе трансформации сервиса «Публичная кадастровая карта» были использованы эмпирические данные, полученные

лично автором при работе с порталом НСПД, а также анкетные опросы рядовых пользователей и членов профессиональных сообществ.

### Результаты и обсуждение

Публичная кадастровая карта как отдельный информационный интернет-ресурс появился в 2010 г.

Первая версия ПКК была демонстрационной и размещалась по адресу <http://maps.rosreestr.ru/Portal>. При ее создании использовалось

программное обеспечение ArcGIS. Полное функционирование первой публичной кадастровой карты было запущено в 2013 г.

В связи с введением в действие федерального закона «О государственной регистрации недвижимости» в 2016 г. ПКК полностью обновилась, ее новый интерфейс и содержание стали доступны по электронному адресу <http://pkk5.rosreestr.ru/>.

В 2019 г. электронный адрес ПКК снова изменился. По ссылке [pkk.rosreestr.ru](http://pkk.rosreestr.ru) сервис существовал до конца 2024 г. (рис. 1).

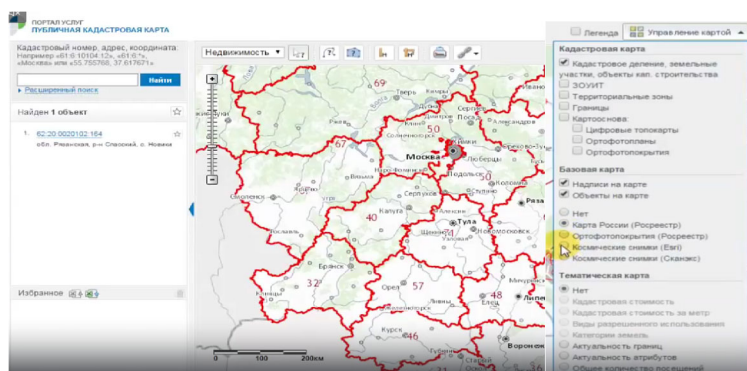


Рис. 1. Внешний вид предыдущей версии Публичной кадастровой карты

Основные изменения интерфейса и содержания сервиса «Публичная кадастровая карта» представлены в табл. 2.

Таблица 2

### История изменений кадастровой карты

Год	Изменение	Описание
2010	Запуск тестовой версии ( <a href="http://maps.rosreestr.ru/Portal">http://maps.rosreestr.ru/Portal</a> )	—
2011	Улучшение интерфейса и смена электронного адреса на <a href="http://maps.rosreestr.ru/PortalOnline/">http://maps.rosreestr.ru/PortalOnline/</a>	Наполнение сведениями о земельных участках; добавлены инструменты поиска и навигации
2012	Модернизация приложения	Реализовано онлайн-обновление кадастровых сведений (52 кадастровых округа); добавлены информация о государственной границе; справочная информация о единицах административно-территориального деления; возможность отображения информации о территориальных зонах и ЗОУИТ; информация о наличии картографической основы на территории
2012	Мобильное приложение ПКК Kadastr.ru	Создано мобильное приложение для смартфонов на платформе iOS
2013	Функционирование в полном режиме	Добавлены сведения об объектах капитального строительства
2013	Мобильное приложение Kadastr.ru	Разработано мобильное приложение для смартфонов на платформе Android
2016	Версия 5.0: новый интерфейс и изменение электронного адреса на <a href="http://pkk5.rosreestr.ru/">http://pkk5.rosreestr.ru/</a>	Добавлена вкладка «Услуги»; реализована возможность пользователем рисовать фигуры и добавлять произвольные линии и полигоны с компьютера
2019	Изменение электронного адреса на <a href="http://pkk.rosreestr.ru">pkk.rosreestr.ru</a>	Внедрен режим обучения; — добавлен слой «Единая электронная картографическая основа»; — добавлены общедоступные сведения о территориях объектов культурного наследия, территориях опережающего социально-экономического развития, зонах территориального развития, игорных зонах, лесничествах и лесопарках, охотничьих угодьях, водных объектах, ООПТ; — добавлены сведения о датах определения, внесения, утверждения и применения кадастровой стоимости

В настоящее время при переходе по ссылке [pkk.rosreestr.ru](http://pkk.rosreestr.ru) автоматически происходит переадресация на сайт портала НСПД ([nspd.gov.ru](http://nspd.gov.ru)), где размещается ПКК.

На портале НСПД [16] вкладка «Публичная кадастровая карта» оснащена 44 слоями, которые объединены в 12 групп (табл. 3).

Таблица 3

## Содержание слоев вкладки «Публичная кадастровая карта»

Номер группы слоя	Название группы слоя	Описание
1	Единицы кадастрового учета	Информация о кадастровом делении
2	Административные границы	Границы РФ, субъектов РФ, районов и поселений и информация о них
3	Земельные участки	Границы земельных участков и основная информация о них
4	Объекты капитального строительства (ОКС)	Границы зданий, сооружений, объектов незавершенного строительства и основная информация о них
5	Комплексы объектов	Информация об объектах капитального строительства, которые объединены по определенным критериям (единые недвижимые комплексы, предприятия как имущественный комплекс и т. д.)
6	Зоны с особыми условиями использования	Информация и границы зон, на которых установлены специальные условия использования с целью охраны окружающей среды, сохранения культурного наследия, обеспечения безопасности и т. д.
7	Зонирование и планирование территории	Информация и границы градостроительного зонирования территорий
8	Природные территории (в предыдущей версии отсутствовали)	Границы и сведения о территориях, которые защищены законодательством и имеют экологическое и природное значение (объекты неживой природы, которые окружают человека и используются для общественного производства, удовлетворения материальных и культурных потребностей)
9	Зоны социального, экономического развития (в предыдущей версии отсутствовали)	Границы и данные о территориях, которые предназначены для реализации проектов социального и экономического развития
10	Территории объектов культурного наследия, включенных в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов РФ (в предыдущей версии отсутствовали)	Границы и сведения о культурных памятниках, которые включены в реестр объектов культурного наследия
11	Иные территории (в предыдущей версии присутствовали частично)	Информация о негативных процессах, объектах туристического интереса и территориях, на которых будут проводиться комплексные кадастровые работы
12	Тепловые карты	Данные о кадастровой стоимости объектов и удельный показатель кадастровой стоимости

Публичная кадастровая карта находится в свободном доступе, ее пользователями явля-

ются как физические и юридические лица, так и представители органов власти. Ресурс

предоставляет возможность ознакомиться со справочными пространственными данными без подачи запросов и взимания платы.

Общий алгоритм обновления информации публичной карты на новом ресурсе не изменился, однако, как и в прежней версии, встречаются случаи задержек. Первые пользователи портала НСПД отмечали большое количество пространственных ошибок: границы земельных участков, объектов недвижимости и т. д. отображались на карте со смещением, причем такие ошибки не носили системного характера. Разработчики быстро реагировали

на выявленные случаи неточностей и вносили соответствующие корректировки в сервис. Таким образом, количество технических ошибок при переходе на новый ресурс значительно сократилось ко времени написания статьи. При этом следует учитывать, что специалисты Росреестра всегда делают акцент на справочности публичного ресурса и рекомендуют перепроверять данные путем заказа точных сведений из ЕГРН, таких как кадастровый план территории и различные выписки.

Внешний вид изучаемого сервиса претерпел значительные изменения (рис. 2).

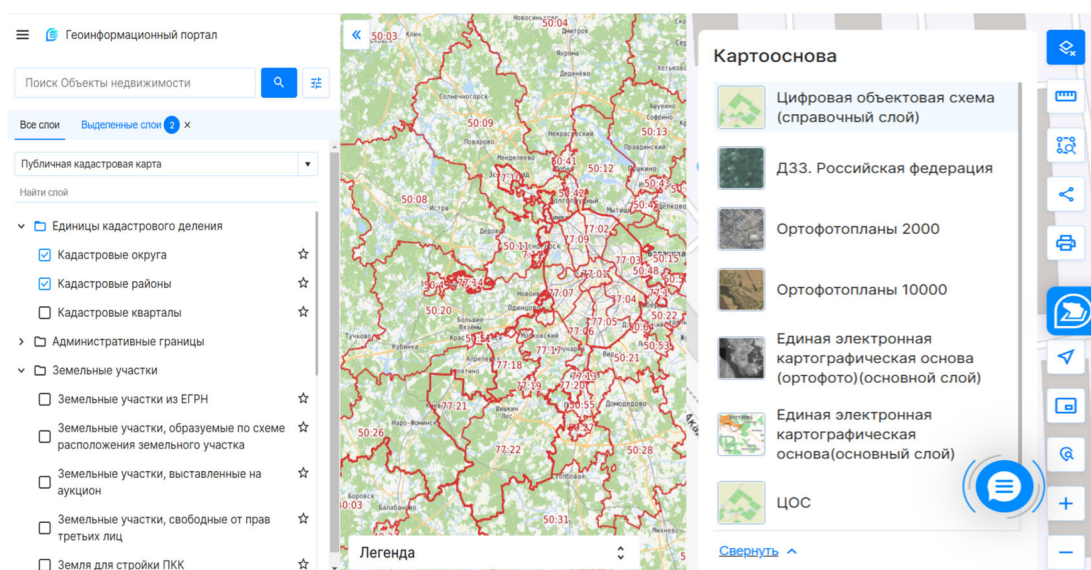


Рис. 2. Действующая публичная карта РФ

Ранее структура меню и расположение элементов управления были сложны для новых пользователей. В новой версии публичной кадастровой карты этот недостаток был исправлен и все инструменты для работы с сервисом не только удобно расположены, структурированы, но и представлены в современном дизайне; используются приятные для глаза цвета и оттенки. Легенда карты теперь имеет функцию сворачивания, что не было реализовано в предыдущей версии. Неотъемлемым достоинством нового портала является возможность определять категорию земель по цвету заливки и контура земельного участка. Теперь не нужно отдельно вызывать информационное меню по каждому интересующему объекту.

В предыдущей версии ПКК существовал так называемый набор слоев по умолчанию.

На карте в зависимости от масштаба всегда отображалась картографическая основа, кадастровый округ (границы и/или номер), кадастровый район (границы и/или номер), квартал (границы и/или номер), земельные участки и объекты капитального строительства по материалам ЕГРН. Для отображения других слоев нужно было их включить. Портал НСПД предлагает пользователю самостоятельно решить, какие из слоев ему необходимо видеть, при его открытии отображается набор слоев и только картографическая подложка, что делает работу с порталом более универсальной, подходящей для более широкого круга лиц.

В новой версии публичной кадастровой карты появилась возможность отключать отображение единиц кадастрового деления.

Для отображения кадастровых и реестровых номеров объектов необходимо в каждом отдельном слое ПКК настраивать их видимость (по умолчанию видимость номеров отключена). Кадастровые номера объектов недвижимости отображаются полностью, лишь при уменьшении масштаба отображения карты их вид меняется на сокращенный (отображаются только последние цифры кадастрового номера, обозначающие порядковый номер в кадастровом квартале).

Кроме несомненных положительных моментов в новом дизайне, есть и неудобства. Так, в предыдущей версии была возможность, кликнув мышью в каком-либо месте, получить краткую информацию обо всех объектах, расположенных в точке клика в виде небольшого всплывающего окна, а в боковой панели появлялась полная информация об одном из объектов автоматически. Обычно в точке было несколько объектов (земельный участок, объект капитального строительства, кадастровый квартал, кадастровый район и т. д.), выбор нужного осуществлялся во всплывающем окне краткой информации путем перебора объектов. Теперь же для получения информации необходимо совершить несколько действий: выделить объект, на боковой панели выбрать его, и только тогда появится полная информация.

В предыдущей версии можно было легко перемещать карту, зажав правую клавишу мыши, с помощью колесика мыши менять масштаб отображения пространственных данных. На портале НСПД перемещение по карте реализовано по типу работы с макетом в Qgis: сначала необходимо навести курсор мыши на нужное место, а затем с помощью колесика мыши менять масштаб изображения.

Пользователи отмечают, что значительно усложнилась процедура работы с публичной кадастровой картой в части добавления пользовательских объектов на нее. Для этого необходимо войти в систему через Госуслуги, на боковой панели выбрать возможность работы с пользовательскими слоями. Создать слой с определенным типом пространственных данных (полигон, линия, точка), выбрать ряд характеристик слоя, которые обывателю не совсем понятны, и только после этого по-

явится возможность либо самостоятельно отрисовать, либо загрузить из файла границы объекта. В предыдущей версии доступ к панели инструментов рисования не требовал авторизации. Инструменты располагались в меню боковой панели. Можно было рисовать самостоятельно объекты (при этом выбор типа был реализован с помощью как графического отображения примитива, так и его подписи: полигон, линия, точка) и подгружать полигоны, линии, точки в формате файлов GEOSON, причем сервис самостоятельно определял тип загружаемых данных. Панель рисования была в предыдущей версии более доступной, хотя ее примитивный функционал значительно уступает новой версии, позволяющей добавить не только произвольный контур, но и различные его варианты: в форме прямоугольника, по длине и ширине, по румбам и длинам линий и т. д.

По мнению кадастровых инженеров, часто использовавших предыдущую версию карты в своих профессиональных интересах, сложно перестроиться к текущему виду и инструментам работы с картой. Новые же пользователи отмечают интуитивно понятный интерфейс портала НСПД и его современный дизайн, использующий мягкие, эстетичные цветовые решения.

Одной из причин перевода ПКК на новый ресурс стало ограничение на одновременное подключение к сервису. Так, в НСПД реализована возможность до 20 000 одновременных подключений.

Многие пользователи ожидали улучшения технической поддержки, но пока этот функционал реализован слабо. На портале существует возможность чата со службой поддержки, но в режиме онлайн она все еще не работает. Отсутствуют ссылки на какую-либо инструкцию по работе с порталом, а также ответы на наиболее часто задаваемые вопросы.

Интеграция с другими источниками данных – одно из главных преимуществ портала НСПД. В настоящее время на платформе в свободном доступе организовано взаимодействие с материалами государственного лесного реестра (границы лесничеств), государственного охотхозяйственного реестра (границы охотничьих угодий), реестра особо

охраняемых природных территорий (границы ООПТ) и т. д. При авторизации пользователю становится доступной информация из других федеральных и региональных источников. Такое решение разработчиков говорит в пользу безопасности использования данных. Следует учесть, что портал находится в начале своего развития, то есть его совершенствование и наполнение продолжится.

Кроме того, из-за наличия большого количества сведений на портале, которые были перенесены с предыдущей ПКК в относительно небольшие сроки, в сведениях возникают неточности. Приведем пример

таких неточностей. Охранная зона воздушной линии электропередачи является зоной с особым режимом использования, устанавливаемой для объектов энергетики. В НСПД существует отдельный слой «ЗОУИТ объектов энергетики, связи, транспорта» (объекты в слое различаются заливкой), в котором отображаются в том числе и охранные зоны воздушных линий электропередачи. Однако некоторые охранные зоны воздушных линий электропередачи (реестровый номер 47:26-6.31) попали в слой «Иные ЗОУИТ» и имеют отличную от вышеуказанного слоя заливку (рис. 3).

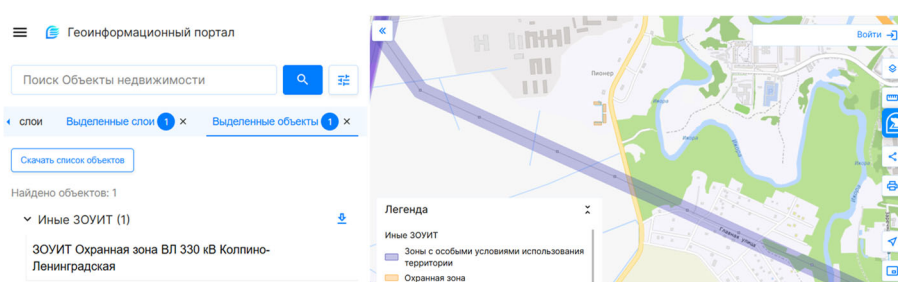


Рис. 3. Пример неточности сведений на портале НСПД

Таким образом, необходимо подключение максимального количества слоев для наиболее полной информации, а для получения достоверной информации следует обратиться к официальным материалам ЕГРН, как уже упоминалось ранее.

### Заключение

Обобщенные показатели сравнительной характеристики сервиса «Публичная кадастровая карта» в новой и предыдущей версиях приведены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительная характеристика сервиса «Публичная кадастровая карта»

Характеристики ПКК	Предыдущая версия ПКК (pkk.rosreestr.ru)	ПКК на портале nspd.gov.ru
Скорость работы (быстрота загрузки данных)	—	+
Наглядность (для отображения части сведений используется разная цветовая заливка)	±	+
Систематизация слоев карты	—	+
Простота работы с картой	+	±
Используемая цветовая гамма (мягкая)	-	+
Интуитивно понятный интерфейс	±	+
Функциональность	±	+
Возможность создания пользовательского набора слоев	-	+
Возможность добавления/удаления подписей объектов	-	+
Необходимость авторизации при просмотре сведений	-	-
Необходимость авторизации при создании/добавлении объектов	-	+
Достоверность сведений	-	-
Интеграция с другими государственными реестрами	-	+
Использование в различных браузерах	+	+
Качество пользовательской поддержки	-	-
Наличие мобильного приложения	+	-

Анализ интерфейса и наполнения обновленной публичной кадастровой карты показал несомненное преимущество в удобстве использования и широте охвата разнообразных сведений о территориях. Но в то же время на просмотр информации тратится несколько больше времени, что практически незаметно при выполнении операции с одним объектом для среднестатистического пользователя, но значительно усложняет работу с большим количеством объектов, например

для кадастровых инженеров, специалистов по оценке недвижимости, риелторов и т. д.

Переход публичной кадастровой карты на портал НСПД способствует реализации ранее выявленной автором международной инициативы по наполнению кадастровых систем дополнительными сведениями для эффективного управления земельными ресурсами. Это является важным шагом в восстановлении управленческой функции российской кадастровой системы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радионов Г. П., Радионова Т. А., Ласкина З. В., Половинкина А. В. Публичная кадастровая карта на Портале госуслуг Росреестра [Электронный ресурс] // ArcReview. – 2010. – № 3 (54). – URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2010/08/09/pkk/> (дата обращения 09.03.2025).
2. Радионов Г. П., Ильин А. Е. Модернизация Публичной кадастровой карты: задачи и решения [Электронный ресурс] // ArcReview. – 2012. – № 4 (63). – URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2012/10/06/cadastral-map-of-russia/> (дата обращения 09.03.2025).
3. Мирошникова О. А. Использование возможностей публичной кадастровой карты в операциях с недвижимым имуществом // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 56–59.
4. Хлебникова Е. П., Мирошникова О. А. Особенности функционирования единой картографической основы публичной кадастровой карты // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 12–17.
5. Хлебникова Е. П., Мирошникова О. А. Анализ информационного наполнения публичной кадастровой карты по регионам Российской Федерации // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 2 (34). – С. 127–142.
6. Мезенина О. Б., Нагимов З. Я., Кузьмина М. В., Кравченко В. Ю., Зуева О. В. Кратко о функционировании и проблемах публичной кадастровой карты на современном этапе // Московский экономический журнал. – 2019. – № 10. – С. 37–43.
7. Нестеренко М. А. Публичная кадастровая карта как интерактивная платформа для отображения сельхозземель с учетом дифференциации по кадастровой стоимости // Ученые записки Брянского государственного университета. – 2023. – № 4 (32). – С. 44–48.
8. Сеница Ю. С., Толмачев М. Ю., Бирюков Д. А. Повышение эффективности применения данных публичной кадастровой карты в поисковых работах // Московский экономический журнал. – 2021. – № 11. – С. 52–60. – DOI 10.24412/2413-046X-2021-10660.
9. Пылаева А. В., Кольченко О. В. О роли статистических показателей развития территории в государственной кадастровой оценке // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 177–191. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-177-191.
10. Москвин В. Н., Пластинин Л. А., Пархоменко И. В. Современные тенденции развития и перспективы изменений учетно-регистрационной системы // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 6. – С. 134–142. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-134-142.

11. Губский Г. А., Колмыков А. В. Трансформация земельного администрирования Республики Беларусь с учетом влияния мегатенденций и становления национальной инфраструктуры пространственных данных // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 3. – С. 174–179.
12. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE) // Official Journal of the European Union. – 2019. – L 108/1. – Pp. 1–14.
13. Trystuła, A., Dudzińska, M., & Żróbek, R. Evaluation of the Completeness of Spatial Data Infrastructure in the Context of Cadastral Data Sharing. Land. – 2020. – № 9(8). – P. 272. – DOI 10.3390/land9080272.
14. Yoo, Y., & Kim, S.-s. (2021). Strategic Analysis for Governance Development of National Spatial Data Infrastructure Portal in Korea // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2021. – № 10 (10). – P. 654. – DOI 10.3390/ijgi10100654.
15. Павлова В. А., Уварова Е. Л. Трансформация кадастровых систем в России и за рубежом в условиях глобализации экономики // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2018. – № 8 (163). – С. 53–59.
16. Портал пространственных данных «Национальная система пространственных данных» [Электронный ресурс]. – URL: <https://nspd.gov.ru> (дата обращения 09.03.2025).

### **Об авторах**

*Екатерина Леонидовна Уварова* – кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства.

Получено 31.03.2025

© *Е. Л. Уварова*, 2025

## **The evolution of cadastral services in Russia: from public cadastral mapping to the formation of a National Spatial Data System**

*E. L. Uvarova*<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State Agrarian University, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation

e-mail: [katrinka-66@mail.ru](mailto:katrinka-66@mail.ru)

**Abstract.** The transition of the Public Cadastral Map (PCM) information service to the National Spatial Data System platform at the end of 2024 necessitated a comparative assessment of its previous and updated versions. The author presents a historical overview of the PCM's development since its launch in 2010, examining transformations in its interface, content, and usability. The analysis considers two key user groups: ordinary citizens and professional specialists (cadastral engineers, real estate experts, appraisers, etc.), and highlights both positive and negative consequences of the changes. The findings provide a foundation for formulating recommendations to further enhance the functionality and effectiveness of the National Spatial Data System portal.

**Keywords:** service, Public Cadastral Map, National Spatial Data System, interface, comparative analysis

## REFERENCES

1. Radionov G. P., Radionova T. A., Laskina Z. V., Polovinkina A. V. (2010) Public personnel card on the Rosreestr Public Services Portal. *ArcReview*, 3 (54). URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2010/08/09/pkk/> [in Russian].
2. Radionov G. P., Ilyin A. E. (2012) Modernization of the Public cadastral map: tasks and solutions. *ArcReview*, 4 (63). URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2012/10/06/cadastral-map-of-russia/> [in Russian].
3. Miroshnikova O. A. (2016) Using the capabilities of a public cadastral map in real estate transactions. *Interespo Geo-Sibir [Interexpo Geo-Siberia]*, 1, 56–59 [in Russian].
4. Khlebnikova E. P., Miroshnikova O. A. (2017) Features of the functioning of the unified cartographic basis of the public cadastral map. *Interespo Geo-Sibir [Interexpo Geo-Siberia]*, 2, 12–17 [in Russian].
5. Khlebnikova E. P., Miroshnikova O. A. (2016) Analysis of the information content of the public cadastral map by regions of the Russian Federation. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2 (34), 127–142 [in Russian].
6. Mezenina O. B., Nagimov Z. Ya., Kuzmina M. V., Kravchenko V. Yu., Zueva O. V. (2019) Briefly on the functioning and problems of the public cadastral map at the present stage. *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal]*, 10, 37–43 [in Russian].
7. Nesterenko M. A. (2023) Public cadastral map as an interactive platform to display agricultural lands, taking into account differentiation by cadastral value. *Uchenye zapiski Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta [Scientific Notes of Bryansk State University]*, 4 (32), 44–48 [in Russian].
8. Sinitza Yu. S., Tolmachev M. Yu., Biryukov D. A. (2021) Improving the efficiency of using public cadastral map data in search operations. *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal]*, 11, 52–60. DOI 10.24412/2413-046X-2021-10660 [in Russian].
9. Pylaeva A. V., Kolchenko O. V. (2024) On the role of statistical indicators of territorial development in the state cadastral assessment *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 29, 3, 177–191. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-177-191 [in Russian].
10. Moskvina V. N., Plastinin L. A., Parkhomenko I. V. (2024) Current trends in development and prospects for changes in the accounting and registration system. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 29, 6, 134–142. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-134-142 [in Russian].
11. Gubsky G. A., Kolmykov A. V. (2022) Transformation of the land administration of the Republic of Belarus, taking into account the impact of megatrends and the formation of a national spatial data infrastructure *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy]*, 3, 174–179 [in Russian].
12. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). *Official Journal of the European Union*, 2019, L 108/1, 1–14.
13. Trystuła, A., Dudzińska, M., & Żróbek, R. (2020) Evaluation of the Completeness of Spatial Data Infrastructure in the Context of Cadastral Data Sharing. *Land*, 9(8), 272. DOI 10.3390/land9080272.
14. Yoo, Y., & Kim, S.-s. (2021). Strategic Analysis for Governance Development of National Spatial Data Infrastructure Portal in Korea. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10 (10), 654. DOI 10.3390/ijgi10100654.
15. Pavlova V. A., Uvarova E. L. (2018) Transformation of cadastral systems in Russia and beyond the frontier in the context of economic globalization. *Zemleustrojstvo, kadastr i monitoring zemel' [Land management, cadastre and land monitoring]*, 8(163), 53–59 [in Russian].
16. Spatial data portal "National Spatial Data System" Retrieved from <https://nspd.gov.ru> (accessed 03/09/2025) [in Russian].

**Author details**

*Ekaterina L. Uvarova* – Ph. D., Associate Professor of the Land Management Department.

Received 31.03.2025

© *E. L. Uvarova*, 2025

УДК 528.23+(69:721)

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-142-154

## Установление локальной системы координат при создании поэтажного плана

М. С. Чуприн<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва,  
Российская Федерация

e-mail: chuprin.max@yandex.ru

**Аннотация.** Использование методов теории математической обработки геодезических измерений, установление локальной системы координат и возможность использования формулы Гаусса для определения площадей помещений позволяет повысить степень автоматизации обработки результатов кадастровых работ в отношении объектов капитального строительства, в частности, при составлении поэтажных планов. Для составления параметрических уравнений связи используются соотношения измеренных длин линий и координат соответствующих векторов. Задается прямоугольная плоская система условных координат. Для уменьшения количества необходимых измерений и приведения результатов уравнивания к общепринятому виду поэтажного плана все отрезки на плане подразделяются на вертикальные и горизонтальные. Для каждого вертикального отрезка (вектора) абсциссы верхней и нижней координаты точки равны, соответственно, для горизонтального отрезка равны ординаты крайних точек. Размеры наружных стен здания являются заданными, поэтому уравнения связи толщин наружных стен имеют простой вид. Дополнительно измеряются длины диагоналей в прямоугольных комнатах. В отличие от существующих методик предлагаемый подход позволяет однозначно описать и формализовать процесс установления размеров помещения и его площади при составлении поэтажного плана.

**Ключевые слова:** кадастровые работы, площадь помещения, объект капитального строительства, информационное моделирование, поэтажный план

### Для цитирования:

Чуприн М. С. Установление локальной системы координат при создании поэтажного плана // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 142–154. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-142-154

### Введение

Создание поэтажного плана является одним из важных этапов кадастровых работ. Именно этот графический документ служит основой для определения площадей помещений, выдачи в составе выписок из Единого государственного реестра недвижимости (далее – ЕГРН) графического описания объекта права. Переоценить такую характеристику недвижимости, как площадь, невозможно, она является одной из ключевых для совершения сделок и налогообложения. С 2014 г. кадастровые инженеры получили возможность работать с объектами капитального строительства (далее – ОКС) и сразу столкнулись

с рядом проблем [1]. Таковыми стали неопределенность требований, сложности с обработкой растровых поэтажных планов как исходных данных в составе сведений ЕГРН. Ранее этим занимались исключительно бюро технической инвентаризации (далее – БТИ), которые составляли поэтажные планы, в том числе в векторном виде для включения в государственный реестр недвижимости (О реализации положений Приказа Минэкономразвития России от 11.01.2011 N 1 «О сроках и порядке включения в государственный кадастр недвижимости сведений о ранее учтенных объектах недвижимости: распоряжение Росреестра от 27.05.2011 № Р/48. – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-

Плюс». – Текст : электронный). Актуальными проблемами являются неизбежные ошибки при проведении измерений, неидеальная ортогональность стен и перегородок, которая допускается нормативами (ГОСТ Р 58942–2020. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски. – М., 2020. – С. 13–16. – Текст : непосредственный). Типовые стандарты кадастровой деятельности (Стандарты кадастровой деятельности: юбилейное издание в честь 10-летия Национальной палаты кадастровых инженеров / Под общ. ред. М. И. Петрушиной, А. Г. Овчинниковой. – М. : Кадастр недвижимости, 2022. – 544 с., 151 ил. – ISBN 978-5-9906474-5-9.– Текст : непосредственный) предлагают усреднять результаты изменения в отдельных комнатах, но при накоплении округлений качество поэтажного плана ухудшается [2]. Профессиональные стандарты упоминают о возможности использовать метод наименьших квадратов и параметрический способ уравнивания. Именно эту возможность предлагается использовать по результатам измерений при создании поэтажного плана. Данный подход возможно применять и для целей актуализации цифровой информационной модели здания на этапе одновременного кадастрового учета и ввода в эксплуатацию.

Существует значительное количество зарубежных исследований, посвященных качеству и валидации геометрических данных при создании поэтажных планов. Международной коалицией из более чем двухсот профессиональных объединений разработана серия стандартов по определению площадей объектов недвижимости (Стандарты кадастровой деятельности: юбилейное издание в честь 10-летия Национальной палаты кадастровых инженеров / Под общ. ред. М. И. Петрушиной, А. Г. Овчинниковой. – М. : Кадастр недвижимости, 2022. – 544 с., 151 ил. – ISBN 978-5-9906474-5-9.– Текст : непосредственный). При всем разнообразии нормативных требований различных юрисдикций удалось создать документы, определяющие универсальные принципы измерений для целей составления поэтажных планов и определения площадей объектов недвижимости. В ста-

тье «К процедурам управления качеством в 3D-кадастре» (Nenad Višnjevac, Mladen Šoškić, Rajica Mihajlović) рассмотрены процедуры управления качеством в контексте модернизации текущей кадастровой системы и гибридной модели данных, которая поддерживает как 2D-, так и 3D-геометрию объектов недвижимости. Делается вывод о необходимости преобразования поэтажных планов в векторный вид для целей перехода к трехмерным моделям объектов недвижимости как безусловной необходимости для развития кадастровой системы [3]. В статье «Регистрация квартир и офисных помещений в 3D-кадастре – пример из Хорватии» (Никола Вучич, Саша Вранич, Майкл Сазерленд, Питер ван Оостерум) рассматриваются вопросы создания трехмерной модели объектов недвижимости как с применением технологий информационного моделирования, так и фактических измерений согласно международным стандартам [4]. Технологическая схема создания геодезического обеспечения для целей трехмерного кадастра недвижимости Е. И. Аврунова, А. И. Гиниятова может быть использована кадастровыми инженерами для создания геодезического обоснования и выбора измерительного технологического оборудования для определения параметров ОКС в пространственной системе координат в соответствии с заданными нормативными допусками в ходе выполнения кадастровых работ [5].

### *Методы и материалы*

Автором [1] описаны основные нормативные источники, регламентирующие сбор пространственных данных о недвижимости. Развитием данной темы стала разработка Методики определения пространственных характеристики и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета (далее – методика). Ввиду очевидной необходимости обеспечить надежный контроль измерений внутренних размеров всех помещений этажа здания единицей применения данной методики может являться этаж или отдельная блок-секция здания, обладающая отдельным контуром, учитываемым в ЕГРН.

Для создания поэтажного плана локальной системе координат необходимо выполнить следующие шаги (рис. 1).

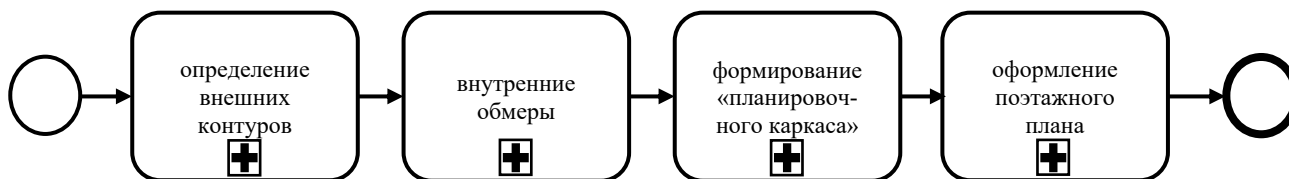


Рис. 1. Алгоритм создания поэтажного плана

После определения координат контуров каждого этажа здания выполняются его внутренние обмеры. Для корректного составления поэтажного плана обмеры следует проводить в отношении всего этажа или его изолированной (отделенной своим контуром) части. Следует избегать ситуаций, когда обмеры делаются в отношении отдельных помещений, так как это не дает возможности сопоставить сумму внутренних размеров помещений с учетом толщин стен и перегородок с внешними габаритами этажа здания. Внутренние размеры помещений определяются согласно разрабатываемой методике лазерными рулет-

ками. В отдельных случаях, когда перегородки и стены примыкают не под прямыми углами или размеры помещений более 30–40 метров, возможно применять электронные тахеометры или лазерные рулетки с угломерной частью и большей дальностью работы. Толщины внешних и внутренних стен, перегородок могут измеряться как непосредственно, например с помощью кронциркулей, так и вычисляться исходя из разницы внутренних размеров помещений с измерениями, выполненными через дверные проемы смежных помещений. Сами размеры, используемые для построения планов, показаны на рис. 2.

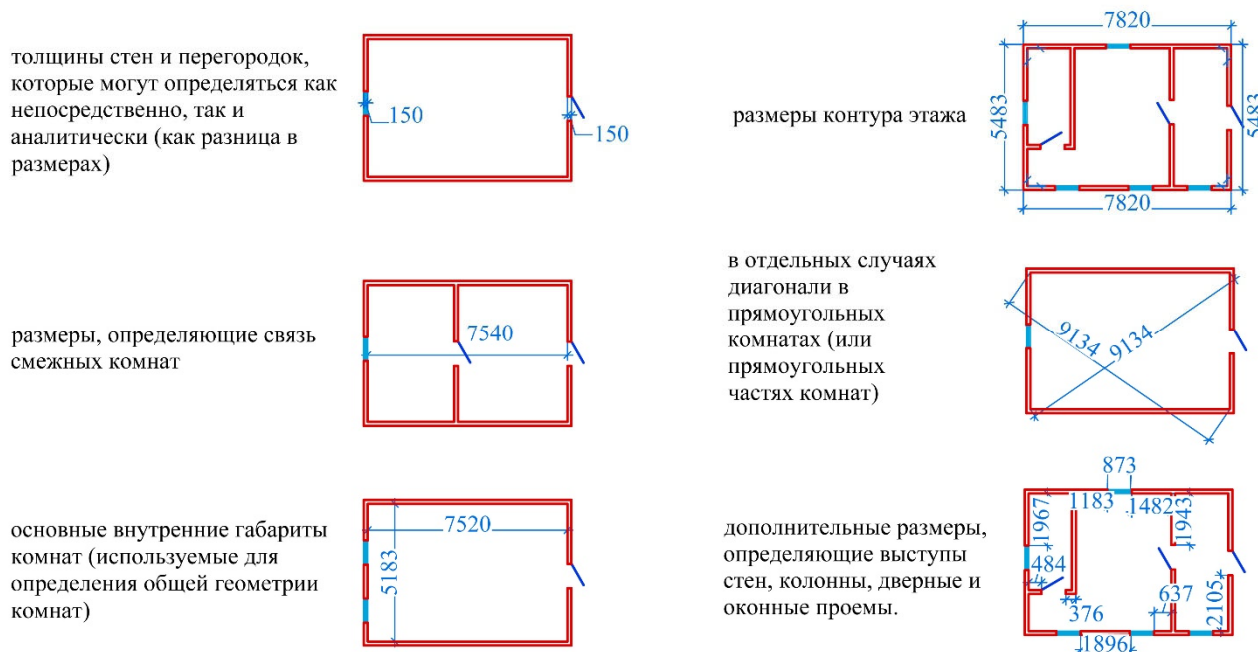


Рис. 2. Типы размеров

Обмеры следует выполнять покомнатно с обязательным ведением абриса. Наиболее удобно проводить измерения в одном направ-

лении (например, по часовой стрелке) от входа в комнату, что упрощает ведение абриса и позволяет осуществлять контроль из-

мерений. Сначала определяются дополнительные размеры (от дверного проема до угла комнаты, от угла комнаты до оконного проема и т. д.), после чего определяют основные внутренние габариты и связи с другими комнатами, определяются доступные к измерениям толщины стен и перегородок. Допустимо применение косвенных измерений [6], использование кронциркуля или толщинометра (в случае однородности материала стен). Задача состоит в обязательном наличии избыточных измерений, которые в дальнейшем

будут использованы для уравнивания результатов измерений и оценки точности.

Предлагаемая методика подразумевает выполнение обмеров здания целиком или его обособленных частей с обязательной связью наружных измерений контура этажа или части этажа с внутренним обмером помещений. Таким образом, возникает задача классификации объектов обмеров и применения оборудования, обеспечивающего достаточную точность измерений. Предлагается выделить три группы объектов [7, 8], классификация приведена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация объектов

Тип №	Описание	Предложения
1	Совокупность комнат и помещений для постоянного или временного пребывания людей	Применять разрабатываемую методику с учетом подходящего по габаритам и дальности работы измерительного оборудования
2	Совокупность строительных объемов, создаваемых для решения производственных задач. помещения для пребывания людей составляют незначительную часть объема, обусловленную производственной необходимостью.	Применять разрабатываемую методику с учетом подходящего по габаритам и дальности работы измерительного оборудования
3	Уникальные объекты, содержащие подавляющую часть внутреннего объема, составляют помещения сложной геометрической формы, которые проблематично разбивать на прямоугольные составляющие в процессе обмерных работ.	Применять ГОСТ Р 56905-2016 Объекты культурного наследия

При составлении поэтажного плана объектов типов 1 и 2 по этой классификации после составления абриса помещения с достаточным количеством размеров составляются параметрические уравнения связи и поправок, определяются свободные члены уравнения поправок, производится уравнивание результатов измерений методом наименьших квадратов (параметрический способ уравнивания) [9]. Для создания поэтажного плана задается условная прямоугольная система координат. За точку отсчета принимается левый нижний угол этажа. При вычислениях на новом абрисе нумеруются по часовой стрелке точки углов комнат на всем этаже (нумерация сквозная по этажу), составляется список раз-

меров. У каждой измеренной величины добавляется индекс из двух чисел, обозначающих, какие точки связывает этот размер. Толщинам стен и перегородок присваиваются произвольные порядковые индексы. Все эти обозначения номера точек, номера измерений и толщин наносятся на абрис для последующей идентификации при вычислениях. За параметры принимаются координаты  $(x, y)$  векторов, из которых состоят контуры помещений. Параметрические уравнения должны описывать связь измерений длин стен, углов (при необходимости) и координат точек контуров помещений. Измерений должно быть больше, чем координат векторов, участвующих в уравнивании. Таким образом, в случае



Виды параметрических уравнений поправок

Параметрическое уравнение поправок	Условие
$v_s = -\cos \alpha_{12} \partial x_1 - \sin \alpha_{12} \partial y_1 + \cos \alpha_{12} \partial x_2 + \sin \alpha_{12} \partial y_2 + l_s$ (4), где $\alpha$ – угол между примыкающими конструкциями; $v_s$ – значение поправки в выполненное измерение; $\partial y_1$ – коэффициент (частная производная из параметрического уравнения связи); $l_s$ – свободный член уравнения поправок	Для стороны в общем виде для стен и перегородок, пересекающихся в плане не под прямым углом
$v_{1-2} = -\partial y_1 + \partial y_2 + l_s$ (5), где $v_{1-2}$ – значение поправки в выполненное измерение; $\partial y_1$ – коэффициент (частная производная из параметрического уравнения связи); $l_s$ – свободный член уравнения поправок	При условии ортогональности стен для горизонтальных участков («вправо» или $\alpha = 90^\circ$ )
$v_s = \partial y_1 - \partial y_2 + l_s$ (6), где $v_s$ – значение поправки в выполненное измерение; $\partial y_1$ – коэффициент (частная производная из параметрического уравнения связи); $l_s$ – свободный член уравнения поправок	При условии ортогональности стен для горизонтальных участков («влево» или $\alpha = 270^\circ$ )
$v_s = -\partial x_1 - \partial x_2 + l_s$ (7), где $v_s$ – значение поправки в выполненное измерение; $\partial x_1$ – коэффициент (частная производная из параметрического уравнения связи); $l_s$ – свободный член уравнения поправок	При условии ортогональности стен для вертикальных участков («вверх» или $\alpha = 0^\circ$ )
$v_s = \partial x_1 - \partial x_2 + l_s$ (8), где $v_s$ – значение поправки в выполненное измерение; $\partial x_1$ – коэффициент (частная производная из параметрического уравнения связи); $l_s$ – свободный член уравнения поправок	При условии ортогональности стен для вертикальных участков («вниз» $\alpha = 180^\circ$ )

Свободные члены в свою очередь выражаются как разность координат и результатов измерений

$$l_{1-2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_3 - y_2)^2} - S_{1-2}, \quad (9)$$

где  $l$  – свободный член параметрического уравнения поправок;  $S$  – размер стены или перегородки;  $x$ ,  $y$  – прямоугольные координаты в локальной системе.

Для оптимизации процесса вычислений исходим из безусловной ортогональности поэтажного плана, тогда каждый отрезок является строго вертикальным или горизонтальным. В таком случае у точек любого отрезка на плане в зависимости от ориентации совпадают абсциссы или ординаты, а количество связанных размеров при выполнении обмеров можно снизить до 5. В общем виде в прямо-

угольной комнате должны быть минимум определены два размера комнаты, две толщины стены и одна связь со смежной комнатой (дополнительные размеры не учитываются). По результатам измерений вычисляются приближенные координаты векторов, значения частных производных и свободных членов. Результаты вносятся в матрицы  $A$  и  $L$ . Коэффициенты из параметрических уравнений поправок для каждого измерения вносятся в матрицу  $A$ , свободные члены уравнения поправок – в матрицу  $L$ . Далее происходит приближенное вычисление всех парамет-

ров (координат характерных точек контуров помещений). После составления уравнений связи составляются параметрические уравнения поправок, вычисляются свободные члены, вычисляются значения поправок и вносятся в матрицу  $L$ . Вычисления производятся согласно теории математической обработки геодезических измерений (далее – ТМОГИ), в результате определяем вектор поправок в измеренные длины стен [9].

### Результаты

С использованием методов ТМОГИ разработана программа для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)», автоматизирующая данный процесс вычислений [10], самыми трудоемкими из которых являются создание электронного абриса (с указанием результатов измерений) и приближенные вычисления значений параметров, осуществляемые путем откладывания отрезков по сетке заданным шагом. Шаг сетки составляет 10 сантиметров, но при вводе существует возможность указать точное значение; на рис. 4 показан пример.

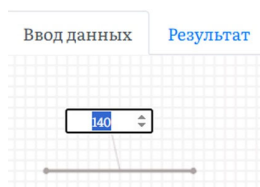


Рис. 4. Ввод данных в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)»

Эти задачи решаются с помощью создания электронного абриса по существующей сетке. Исходя из заданного шага сетки и данных результатов внутренних обмеров (абриса) создается его электронная версия с внесением результатов измерений для дальнейшей обработки. Далее вычисления идут по описанному выше алгоритму. В результате  $\Delta X$  вносят в приближенные вычисленные координаты (параметры), получая уравненные значения, проводят оценку точности. Уравненные значения

координат характерных точек контуров помещений служат для создания «планировочного каркаса здания». Ниже на рис. 5–7 приведены примеры готового абриса, результата расчета площадей и уравнивания соответственно.

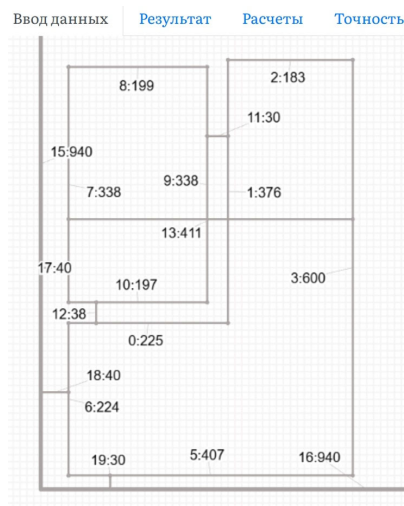


Рис. 5. Электронный абрис в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)»

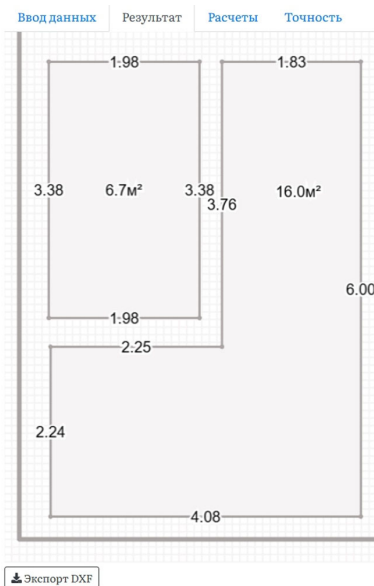


Рис. 6. Результаты вычисления площадей в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)»

Из рис. 5 следует, что проведено 14 измерений, которые связывают 10 параметров. Па-

раметрами, как указано выше, являются координаты векторов, образующих контуры комнат. В рассматриваемом случае при заданном условии ортогональности стен для каждого отрезка за параметр принимается в зависимости от ориентации одна координата ( $x$  или  $y$ ). При этом в матрице  $A$  не предполагается учета параметрических уравнений углов со

свободными членами. Разрабатываемая методика подразумевает предварительную классификацию объектов, приведенную в табл. 2, и использование одного вида измерительного оборудования для типов 1 и 2, поэтому все измерения принимаются равноточными, что исключает необходимость применения в расчетах весовой матрицы  $P$ .

Ввод данных	Результат	Расчеты	Точность
#	$S_{\text{изм}}, \text{ см}$		$V, \text{ см (поправка)}$ $S_{\text{урavn}}, \text{ см}$
1	225		0.29    225.29
2	376		0.00    376.00
3	183		-0.34    182.66
4	600		0.00    600.00
5	407		0.94    407.94
6	224		0.00    224.00
7	338		0.00    338.00
8	199		-0.63    198.37
9	338		0.00    338.00
10	197		1.37    198.37

Средняя квадратическая ошибка измеряемого расстояния  $\mu = 0.92 \text{ см}$

Рис. 7. Результаты уравнивания в среде программы для ЭВМ «Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner)»

На рис. 7 приведены поправки в измеренные значения длин стен для части этажа (вектор поправок в измеренные длины стен). Стандартом (ГОСТ Р 58942–2020. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски. – М., 2020. – С. 13–16. – Текст : непосредственный) предписывается допуск по ортогональности до 12 сантиметров. Из отчета на рис. 7 исключены размеры, определяющие

связи смежных комнат, измерения толщин стен и перегородок, так как эти значения не приводятся на итоговом поэтажном плане. Исходя из условия ортогональности перегородок в условной системе координат с использованием средств компьютерной графики создается поэтажный план. Общая последовательность выполнения операций при создании планировочного каркаса приведена ниже (рис. 8).

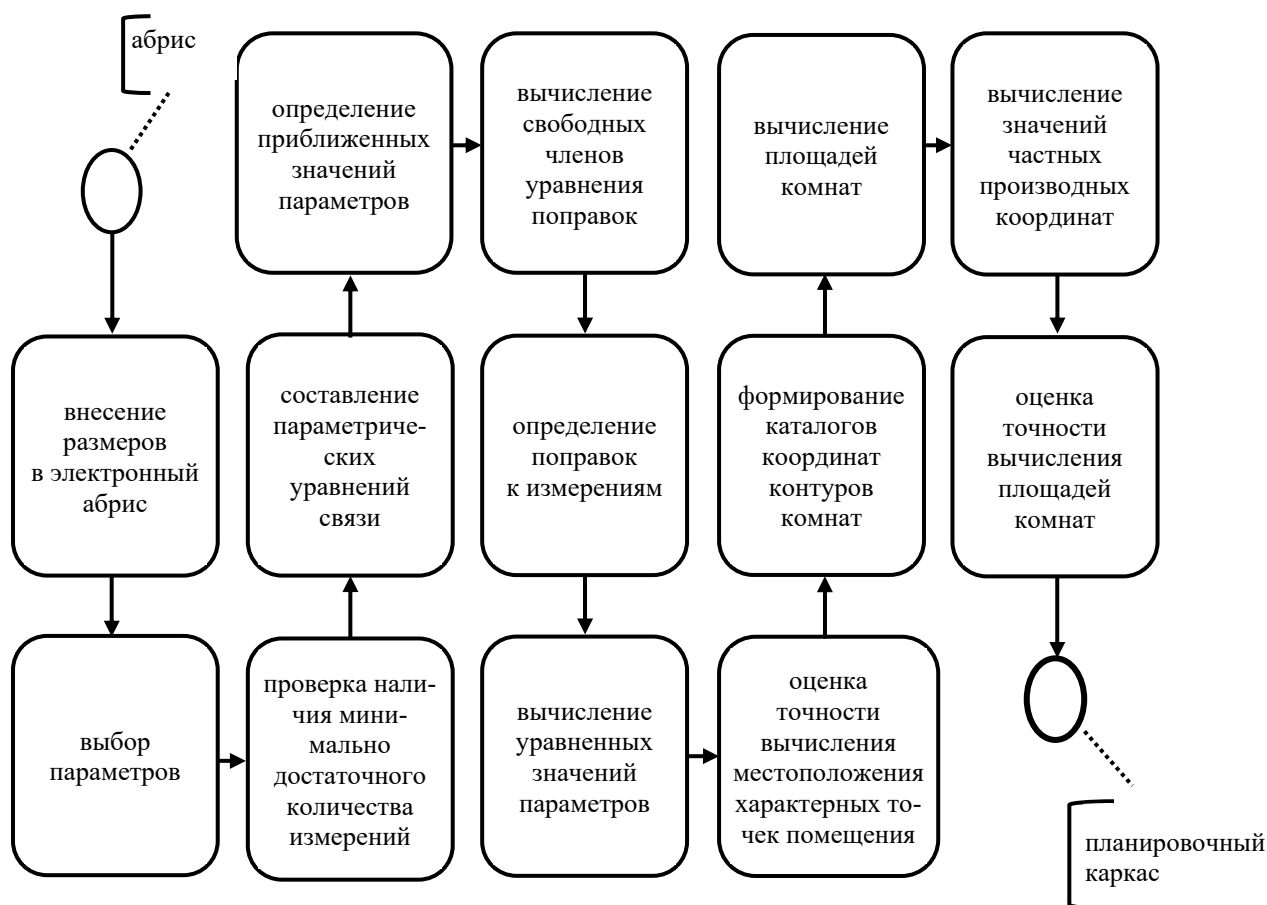


Рис. 8. Алгоритм работы Planner

Дальнейшие исследования по апробации разрабатываемой методики с использованием Planner должны дать ответы о корректности принятия угловых и линейных измерений равноточными и, как следствие, о возможном допуске по ортогональности поэтажного плана для кадастровой деятельности.

### Обсуждение

Результатом вычислений является внесение поправок в выполненные измерения, а уравненные значения параметров (уже объединенные в связанные между собой векторы) позволяют в локальной системе координат создать чертеж, который служит основой для оформления поэтажного плана. Используя вспомогательные размеры, вычерчиваются условные знаки окон, дверей и прочих архитектурных элементов, которые согласно требованиям к составлению по-

этажного плана необходимо отображать на чертеже. Планировочный каркас является исходными данными для составления файлов xml и ifc [11, 12]. Далее следует оценить точность подобных построений, сравнить с существующей методикой (Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места : приказ Росреестра от 23.10.2020 N П/0393 (ред. от 29.10.2021). – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс». – Текст : электронный) и сделать вывод о возможности вычислять подобным образом площади в отношении помещений и зданий. В отличие от традиционных мето-

дов создания поэтажных планов предлагаемая методика позволит сразу переходить к определению площадей помещений, исключив этап разбиения помещений на простые геометрические фигуры, вычисляя площадь как функцию от локальных координат контура помещения на плане этажа. Кроме того, применение данной методики позволит обеспечить воспроизводимость результатов составления поэтажного плана и определения площади в случаях расхождения линейных размеров у разных исполнителей, так как для каждого измерения длин стен и перегородок на плане будет проводиться оценка точности. Составление поэтажного плана в векторном формате для дальнейшего использования в различных информационных системах является теоретически востребовано в любом из возможных сценариев развития отечественной системы учета недвижимости [13]. В отличие от существующих методик предлагаемый подход позволяет однозначно описать и формализовать процесс установления размеров помещения и расчета площади при составлении поэтажного плана.

### Заключение

Использование методов ТМОГИ и установление локальной системы координат ОКС позволяет автоматизировать составление поэтажного плана, использовать формулу Гаусса для определения площадей помещений, что создаст условия для повышения объективности отражения пространственных характеристик в ЕГРН [14], поскольку в отличие от существующих методик позволяет однозначно описать и формализовать процесс установления размеров помещения и расчета площади. Установление локальной системы координат при создании поэтажного плана позволит автоматизировать процесс вычисления площадей, повысит технологичность (степень автоматизации) создания поэтажных планов. Кроме того, поэтажный план, составленный с применением разрабатываемой методики, может послужить инструментом разрешения споров о площади и линейных размерах помещений, дополнять перспективные технологии лазерного сканирования для большей автоматизации трехмерного моделирования, что является направлением продолжения исследований автора.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чуприн М. С., Григорьев С. А. Анализ методов сбора пространственных данных для формирования эксплуатационной модели здания и последующего кадастрового учета // Управление объектами недвижимости и комплексное развитие территорий : сборник статей III Международного научно-практического семинара. Санкт-Петербург, 2024. – СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2024. – С. 204–211. – EDN BQUENY.
2. Жабицкий М. Г., Черненко К. В. Метод цифрового определения координат измерительного комплекса при выполнении измерений в замкнутом помещении // International Journal of Open Information Technologies. – 2023. – Vol. 11. – No 6.
3. Višnjevac N., Šošković M., Mihajlović R. Towards Quality Management Procedures in 3D Cadastre // ISPRS Int. J. Geo-Inf. – 2024. – Vol. 13. – No 5. – P. 160. – DOI 10.3390/ijgi13050160.
4. Vučić N., Vranić S., Sutherland M., van Oosterom, P. Registration of apartments and office spaces in 3D land administration – A case study in Croatia // Land Use Policy. – 2024. – Vol. 142. – DOI 10.1016/j.landusepol.2024.107187.
5. Аврунев Е. И., Гиниятов А. И. Технологическая схема создания геодезического обеспечения для целей трехмерного кадастра недвижимости // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Международ. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 3 : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью». – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – С. 49–55. – DOI 10.33764/2618-981X-2022-3-49-55.
6. Лебедев Н. Н. Курс инженерной геодезии. Геодезические работы при проектировании и строительстве городов и тоннелей : учебное пособие. – 2-е изд. – М. : Недра, 1974. – 360 с.

7. Майничева А. Ю., Груздева Е. А., Орлова Е. Ю. Методика обмеров зданий методом лазерного сканирования (на примере двух объектов культурного наследия Новосибирской области) // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. – 2023. – № 51. – С. 258–269. – DOI 10.17223/22220836/51/22.
8. Яхина Е. П., Светлова О. И. Анализ тенденций использования технологии лазерного сканирования при сохранении объектов культурного наследия России // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 2 (48). – DOI 10.52684/2312-3702-2024-48-2-58-63.
9. Голубев В. В. Геодезия. Теория математической обработки геодезических измерений : учебник для вузов. – М. : МИИГАиК, 2016. – 422 с.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024666929 Российская Федерация. Веб-сервис для создания планировочного каркаса объекта капитального строительства (Planner) : № 2024664603 : заявлено 20.06.2024; опубликовано 17.07.2024, Бюл. № 7 / Чуприн Максим Сергеевич (RU), Атаманов Сергей Александрович (RU), Голубев Владимир Викторович (RU). Правообладатель Чуприн Максим Сергеевич (RU). – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.
11. 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.
12. Бачурина С. С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 3: Примеры лучших практик использования цифровых моделей в градостроительстве. – М. : ДМК Пресс, 2022. – 192 с.
13. Атаманов С. А., Григорьев С. А., Косаруков З. С., Чуприн М. С. Перспективы развития системы учета недвижимости // Пространственные данные: наука и технологии. – 2023. – Т. 14, № 4. – С. 28–46. – DOI 10.30533/scidata-2023-14-16. – EDN BUZFDJ.
14. Григорьев С. А. Достоверность сведений ЕГРН и ее критерии // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 100–107. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-100-107. – EDN MMOIGV.

### Об авторах

*Максим Сергеевич Чуприн* – преподаватель кафедры землеустройства и кадастров.

Получено 26.02.2025

© М. С. Чуприн, 2025

### Establishing local coordinate systems for accurate floor plan creation

*M. S. Chuprin* <sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

e-mail: chuprin.max@yandex.ru

**Abstract.** A novel approach to automating the processing of cadastral survey results for capital construction objects, specifically in the development of floor plans is presented in the paper. The methodology integrates mathematical processing techniques for geodetic measurements, establishment of a local coordinate system, and the application of Gauss's formula for precise area calculation of rooms. Parametric constraint equations are formulated based on measured segment lengths and corresponding vector coordinates within a defined rectangular planar coordinate system. To optimize measurement efficiency and standardize adjustment outcomes to conventional floor plan formats, line segments are categorized as either vertical or horizontal. Vertical segments maintain constant x-co-

ordinates across endpoints, while horizontal segments have equal y-coordinates. Known external wall dimensions simplify constraint equations related to wall thickness. Additional diagonal measurements in rectangular rooms enhance accuracy. Unlike traditional methods, this approach offers a rigorous, formalized process for defining room sizes and areas, improving accuracy and reliability in floor plan generation.

**Keywords:** cadastral works, room area, capital construction object, information modelling, floor plan

## REFERENCES

1. Chuprin M. S., Grigoriev S. A. (2024). Analysis of methods for collecting spatial data for the formation of an operational building model and subsequent cadastral accounting. In *Sbornik statey III Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminar: Upravlenie obektami nedvizhimosti i kompleksnoe razvitie territorii: [Proceedings of the III International Research and Practical Seminar: Real estate management and integrated territorial development]* (pp. 204-211). St. Petersburg: St. Petersburg Mining University Publ. ISBN 978-5-94211-993-5. EDN BQUENY [in Russian].
2. Zhabitsky M. G., Chernenko K. V. (2023). Method for digital determination of coordinates of a measuring complex when performing measurements in a closed space *International Journal of Open Information Technologies*, 11(6). ISSN 2307-8162 [in Russian].
3. Višnjevac, N., Šoškić, M., Mihajlović, R. (2024). Towards Quality Management Procedures in 3D Cadastre. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 13 (5), P. 160. DOI 10.3390/ijgi13050160.
4. Vučić N., Vranić S., Sutherland M., van Oosterom, P. (2024). Registration of apartments and office spaces in 3D land administration – A case study in Croatia. *Land Use Policy*, 142. DOI 10.1016/j.landusepol.2024.107187.
5. Avrunev E. I., Giniyatov A. I. (2022). Technological scheme for creating geodetic support for the purposes of a three-dimensional real estate cadastre. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2022: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodopol'zovaniia, zemleustroistvo, lesoustroistvo, upravlenii e nedvizhimost'iu [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2022: International Scientific Conference: Vol. 3. Economic Development of Siberia and the Far East. Environmental Economics, Land Management, Forestry Management and Property Management]* (pp. 49–55). Novosibirsk: SSUGT Publ. DOI 10.33764/2618-981X-2022-3-49-55 [in Russian].
6. Lebedev N. N. (1974). Course of engineering geodesy. *Geodezicheskie raboty pri proektirovani i stroitel'stve gorodov i tonnelei [Geodetic works in the design and construction of cities and tunnels]*. Moscow: Nedra Publ. 360 p. [in Russian].
7. Mainicheva A. Yu., Gruzdeva E. A., Orlova E. Yu. (2023). Methodology for measuring buildings using laser scanning (on the example of two cultural heritage sites in the Novosibirsk region) *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Kul'turologiia i iskusstvovedenie [Vestnik Tomsk State University Journal. Cultural Studies and Art History]*, 5, 258–269. DOI 10.17223/22220836/51/22 [in Russian].
8. Yakhina E. P., Svetlova O. I. (2024). Analysis of trends in the use of laser scanning technology in preserving cultural heritage sites in Russia *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiia [Engineering and Construction Herald of the Caspian Region]*, 2(48). DOI 10.52684/2312-3702-2024-48-2-58-63 [in Russian].
9. Golubev V. V. (2016). *Geodesy. Theory of Mathematical Processing of Geodetic Measurements [Teoriia matematicheskoi obrabotki geodezicheskikh izmerenii]*. Moscow: Izdatel'stvo MIIGAiK Publ., 422 p. ISBN 978-5-91188-073-6 [in Russian].
10. Certificate of State Registration of the Computer Program No. 2024666929 Russian Federation. Web service for creating a planning framework for a capital construction project (Planner) : No. 2024664603 : filed 06/20/2024, published 07/17/2024, Bull. No. 7 / Chuprin Maxim Sergeevich (RU), Atamanov Sergey Alexandrovich (RU), Golubev Vladimir Viktorovich (RU). Copyright

holder: Chuprin Maxim Sergeevich (RU) Registered in the Register of Computer Programs [in Russian].

11. Bachurina S. S. (2021). *Informatsionnoe modelirovanie: metodologiya ispol'zovaniia tsifrovyykh modelei v protsesse perekhoda k tsifrovomu proektirovaniyu i stroitel'stvu. CH. 2: Perekhod k tsifrovomu proektirovaniyu i stroitel'stvu. Metodologiya* [Information Modeling: Methodology for Using Digital Models in the Transition to Digital Design and Construction. Part 2: Transition to Digital Design and Construction. Methodology]. Moscow: DMK Press Publ., 128 p. ISBN 978-5-97060-994-1 [in Russian].

12. Bachurina S. S. (2022). *Informatsionnoe modelirovanie: metodologiya ispol'zovaniia tsifrovyykh modelei v protsesse perekhoda k tsifrovomu proektirovaniyu i stroitel'stvu. CH. 2: Primery luchshikh praktik ispol'zovaniia tsifrovyykh modelei v gradostroitel'stve* [Information Modeling: Methodology for Using Digital Models in the Transition to Digital Design and Construction. Part 3: Examples of Best Practices in Using Digital Models in Urban Planning]. Moscow: DMK Press Publ., 192 p. ISBN 978-5-93700-158-0 [in Russian].

13. Atamanov S. A., Grigoriev S. A., Kosarukov Z. S., Chuprin M. S. (2023). Prospects for the development of the real estate accounting system *Prostranstvennyye dannye: nauka i tekhnologii* [Spatial Data: Science and Technology], 14(4), 28–46. DOI 10.30533/scidata-2023-14-16. EDN BUZFDJ [in Russian].

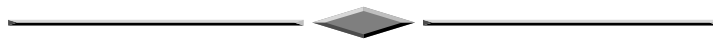
14. Grigoriev S. A. (2021). The reliability of the Unified State Register of Real Estate information and its criteria *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], Vol. 26, № 4. Pp. 100–107. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-100-107. EDN MMOIGV [in Russian].

#### Author details

*Maksim S. Chuprin* – Lectuer of the Department of Land Management and Cadastre.

Received 26.02.2025

© *M. S. Chuprin*, 2025



УДК 543.423

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-155-163

## Сравнительный анализ методов определения состава веществ на основе искрового эмиссионного спектра

*Н. Н. Достовалов<sup>1</sup>, Г. В. Симонова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

e-mail: dostovalov@ssga.ru

**Аннотация.** В настоящее время большой интерес вызывают методы анализа состава вещества при его малых количествах. Существующие методы подобного анализа в большинстве случаев имеют ограничения по необходимой для контроля массы навески. Кроме этого, использование искрового эмиссионного метода приводит к загрязнению наблюдаемого спектрального распределения составляющими от других сопутствующих веществ, а также вызывает повреждение как подложки, так и экспериментального оборудования. Таким образом, существующие методы контроля состава исследуемой пробы при малых количествах веществ в большинстве случаев недостаточно информативны и при количественных оценках отягощены значительной погрешностью. Результаты сравнительного анализа методов определения состава веществ на основе искрового эмиссионного спектра позволили сделать вывод о перспективности применения оптических схем с использованием явления полного внутреннего отражения. Приведенные в работе экспериментальные результаты подтвердили справедливость данного вывода. Полученные данные могут быть полезны при разработке новых методов и оборудования, применяемых для анализа малого количества исследуемого вещества, например, тонких пленок, осажденных на поверхности подложки.

**Ключевые слова:** методы исследования, спектральные характеристики, искровой метод, полное внутреннее отражение, малое количество вещества

### Для цитирования:

*Достовалов Н. Н., Симонова Г. В.* Сравнительный анализ методов определения состава веществ на основе искрового эмиссионного спектра // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 155–163. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-155-163

### *Введение*

Локальные, и в особенности методы прямого анализа состава веществ приобрели в настоящее время большое значение, что связано с развитием технологий современного приборостроения, в том числе оптического, микро-, опто- и нанoeлектроники,

нанотехнологий в целом. Актуальность рассматриваемых в статье вопросов обусловлена необходимостью в короткие сроки получать информацию о химическом и структурном составе тонких (до 100 нм) пленок, а в некоторых случаях и их отдельных топологических фрагментов микро- и наномасштаба, вплоть до наночастиц различной природы,

т. е. сверхмалых количеств веществ. Весьма популярны для указанных целей методы атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС). В этом случае элементный состав исследуемых объектов определяется по характеристическим спектральным компонентам излучения исследуемого вещества. Для формирования источников возбуждения излучения для АЭС используют различные виды плазмы, например, плазму лазерной искры.

Одним из методов АЭС-анализа является применение сфокусированного лазерного излучения для получения лазерной искры с последующей регистрацией спектрального состава полученного света. Метод получил название лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии (ЛИЭС).

Рассматриваемые методы позволяют осуществлять исследования дистанционно и в реальном масштабе времени. Оборудование для реализации метода может изготавливаться в переносном варианте.

Существующие в настоящее время методы АЭС-анализа [1–3], применяемые для исследования спектра лазерной искры [4–9], не позволяют исключить попадание в исследуемый спектр веществ помех, обусловленных загрязнениями плазмы парами подложки, на которой расположены исследуемые элементы, а также сопутствующими примесями. В статье приведены результаты сравнительного анализа различных условий возбуждения излучения лазерно-искровым методом.

## Методы и материалы

Атомно-эмиссионная спектроскопия представляет собой разновидность атомно-спектральных методов определения элементного состава вещества по оптическим линейчатым спектрам излучения атомов и ионов анализируемой пробы. Для АЭС в качестве возбуждающего источника света можно использовать различные виды плазмы или пламя горелки. Интенсивность каждой линии определяется количеством данных переходов и количеством атомов, в которых происходит явление. Чем больше атомов участвует в процессе, тем интенсивнее возникающая спектральная линия.

При определении элементного состава различных образцов методом лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии применяется наиболее распространенная оптическая схема, при которой лазерное излучение для создания плазмы подводится под некоторым углом к образцу, как показано на рис. 1, а. Если исследуется образец, содержащий малое количество исследуемого вещества, например, в виде тонких пленок или частиц размерами менее 100 нм, то может применяться схема, показанная на рис. 1, б. В этом случае возможно возникновение помех, обусловленных сверхмалым количеством вещества в тонкой пленке и близостью поверхности подложки из другого материала, в результате чего наблюдается загрязнение плазмы парами подложки [10].

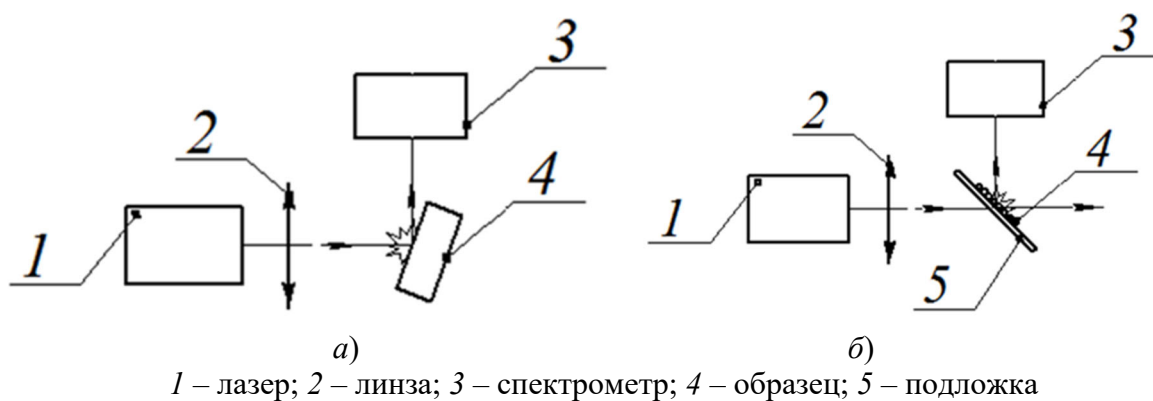


Рис. 1. Наиболее распространенные оптические схемы ЛИЭС:

а) для анализа большой массы вещества; б) для анализа тонкопленочных образцов

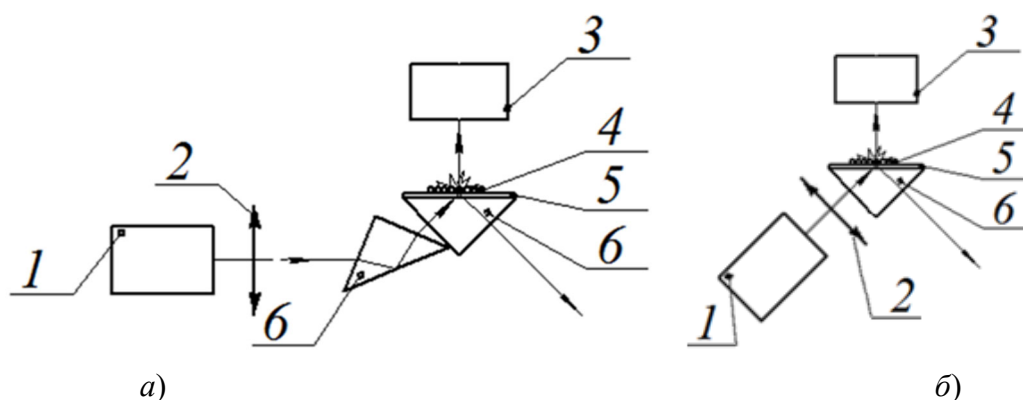
Следует отметить, что применение рассмотренных методов для получения спектра с помощью наносекундного лазерного импульса может привести к прогреву образца на значительную глубину, большую, чем толщина исследуемого материала. Большое количество испаренного вещества приведет к экранированию лазерного излучения плазмой факела, что окажет негативное влияние на чувствительность и воспроизводимость метода. Локальность испаряемых фрагментов также трудно контролировать из-за гауссовой формы распределения энергии в лазерном луче [2].

Часть указанных проблем можно устранить путем совмещения принципов ЛИЭС и известного явления полного внутреннего отражения (ПВО). Разрабатываемые методы предусматривают облучение (для получения лазерной искры) объектов, находящихся на поверхности гладкой подложки, изнутри подложки, причем последняя должна быть прозрачна для используемого лазерного излучения, которое направляется на границу раздела фаз под углом, позволяющим наблюдать явление ПВО. Необходимость прозрачной подложки для применения лазерного излучения ограничивает область применения метода, но позволяет снизить влияние спектральных компонентов от сопутствующих материалов, уменьшить разрушение подложки и улучшить локальность источника излучения.

Как показано на рис. 2, а, сфокусированное лазерное излучение под углом полного внутреннего отражения падает изнутри прозрачной подложки на ее верхнюю поверхность с нанесенным образцом; световая волна частично туннелирует сквозь границу раздела двух сред и проникает в область расположения образца на верхней поверхности подложки. Глубина проникновения сфокусированного излучения в этом случае ограничивается механизмом изменения интенсивности затухающей световой волны при полном внутреннем отражении [11].

Туннелирующее излучение поглощается частицами образца на поверхности подложки. Поглощенная энергия нагревает частицы и переводит их в плазму. Энергия или плотность энергии лазерного излучения должна быть достаточной для возникновения плазмы, излучение которой пригодно для анализа спектральными приборами. Лазерное излучение, отраженное от подложки, не несет полезной информации для ЛИЭС и отводится в сторону без попадания в спектрометр.

Присутствие двух призм на схеме, показанной на рис. 2, а вводится для сканирования поверхности подложки, но усложняет конструкцию и может привести к значительному снижению мощности возбуждающего излучения, поэтому схему можно упростить, не снижая эффективности предложенного метода как показано на рис. 2, б.



1 – лазер; 2 – линза; 3 – спектрометр; 4 – образец; 5 – подложка; 6 – призма

Рис. 2. Оптические схемы ЛИЭС с использованием ПВО:

а) с применением дополнительной призмы; б) упрощенная схема

Известные предварительные эксперименты и их результаты подтверждают предположение о получении лазерной плазмы в поле затухающей световой волны при испарении тонких слоев материала или отдельных их фрагментов с поверхности подложки в условиях полного внутреннего отражения [10].

### Результаты

Для проверки результатов анализа были проведены эксперименты по получению эмиссионных спектров с помощью лазерной искры по схемам, показанным на рис. 1 и по схеме, показанной на рис. 2, б. Условия проведения эксперимента представлены в таблице. Для получения лазерной искры использовался Nd:YAG лазер Quantel Brilliant с длиной волны излучения 1 064 нм.

Диаметр сфокусированного линзой пятна  $d$  определялся по нижеприведенной формуле в соответствии с [12] для длины волны 1 064 нм и линзы с фокусом 500 мм при диаметре лазерного пучка 4 мм:

$$d = \frac{2,44\lambda f}{D}. \quad (1)$$

Условная глубина проникновения излучения за поверхность подложки определялась по формуле в соответствии с [13]

$$h = \frac{\lambda}{2\pi n_1 \sqrt{\sin^2 \theta - \frac{n_{cp}^2}{n_1^2}}}, \quad (2)$$

где  $h$  – условная глубина проникновения излучения за границу раздела сред с большим  $n_1$  и малым  $n_{cp}$  показателями преломления;  $\lambda$  – длина волны излучения лазера;  $\theta$  – угол падения излучения.

### Условия эксперимента

Характеристики	Значения
Мощность лазера в импульсе $P$ , Вт	$25 \cdot 10^6$
Длина волны излучения лазера $\lambda$ , нм	1064
Диаметр сфокусированного линзой пятна $d$ , м	$325 \cdot 10^{-6}$
Угол падения $\theta$ , °	45
Показатель преломления подложки $n_1$	1,51
Условная глубина проникновения за границу раздела сред, м	$4,54 \cdot 10^{-7}$

В качестве регистратора спектров использовался многоканальный спектрометр «Коллибри-2» со спектральным разрешением 0,7 нм.

Выбор спектрального интервала обусловлен характерными спектральными линиями для идентификации исследуемого

материала, в данном случае алюминия. На рис. 3 представлены спектральные характеристики, полученные по схеме, представленной на рис. 1, а для массивного образца алюминия и стеклянной подложки (в отсутствие алюминиевой пленки).

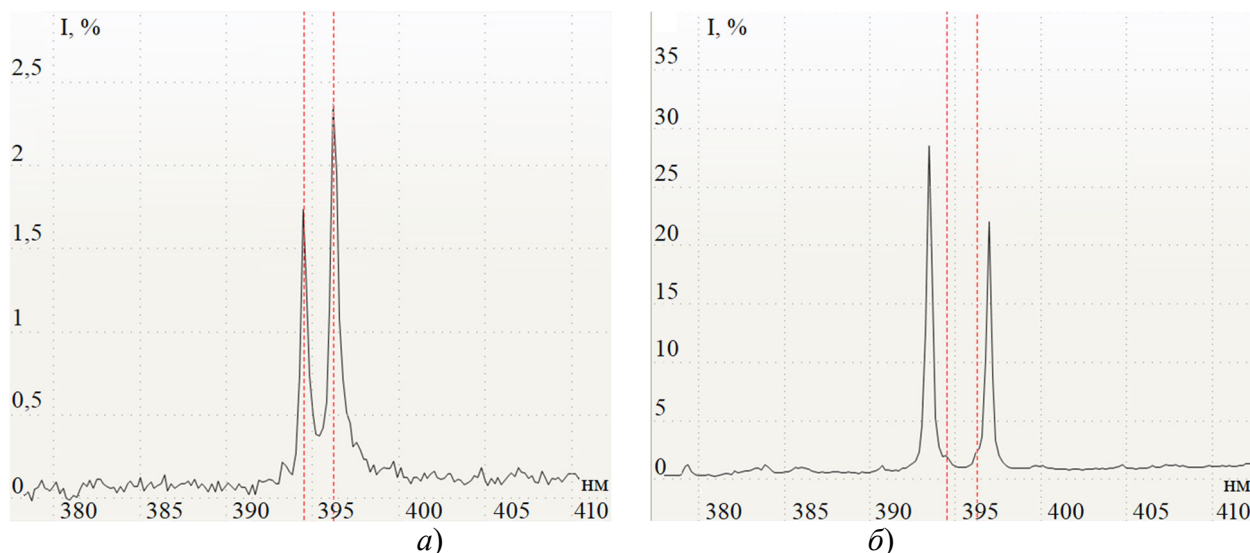


Рис. 3. Спектральные характеристики:  
а) образца алюминия; б) стеклянной подложки

Идентификация линий соответствующих переходов для алюминия проводилась по известным линиям (показано пунктиром) 394,6406 нм и 396,1527 нм, в соответствии с базами данных [14, 15]. Идентификационные линии материала хорошо разделены, и наложения линий на спектрах от разных материалов не происходит (см. рис. 3), при отсутствии алюминия на подложке его характерные линии в спектре не возникают (рис. 3, б). По оси у указывается отно-

сительная интенсивность спектральных компонент по соотношению «сигнал/шум». Сплошной спектр шума, вероятно, обусловлен тепловым излучением лазерной плазмы.

На рис. 4, а, б представлены характеристики эмиссионного спектра алюминиевой пленки толщиной порядка 100 нм, напыленной в вакууме на поверхность подложки. Спектры были получены согласно схемам, показанным на рис. 1, б и рис. 2, б соответственно.

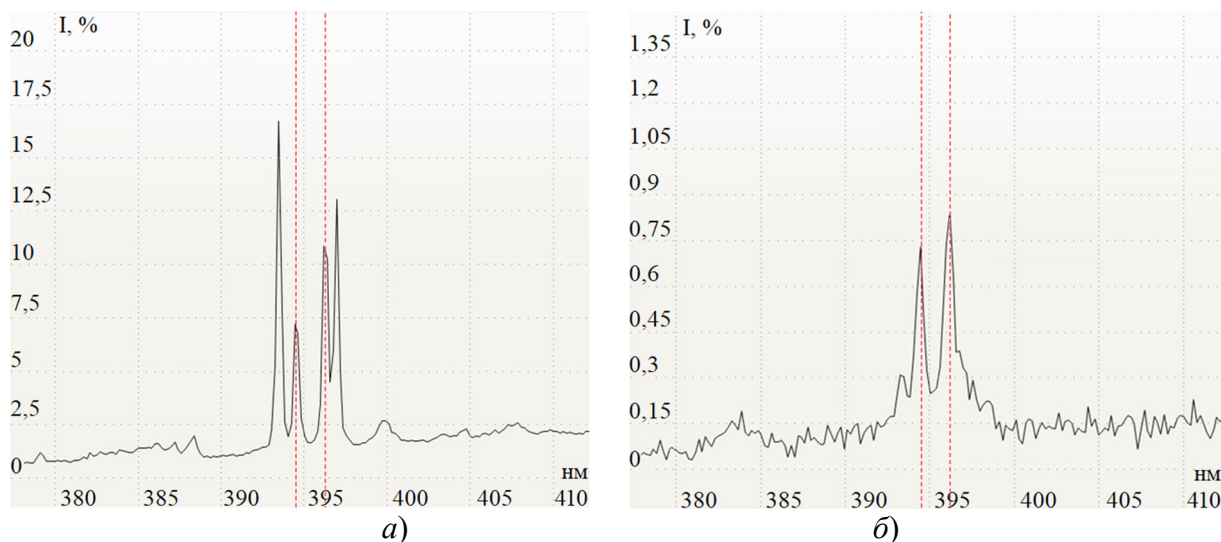


Рис. 4. Спектральные характеристики алюминия на стеклянной подложке:  
а) без выполнения условия ПВО; б) с выполнением условия ПВО

На спектральных характеристиках, полученных по схеме на рис. 1, б, заметно, что интенсивности линии подложки заметно превышают интенсивности линий алюминия. На спектральных характеристиках по схеме на рис. 2, б линии подложки, наоборот, имеют значительно меньшую интенсивность, чем интенсивность спектральных линий исследуемого вещества, что указывает на меньшую степень повреждения подложки.

### Заключение

Механизм формирования лазерной искры ограничивает как глубину проникновения возбуждающего эмиссионный спектр излучения, так и уменьшает область локализации испаряемого материала. Приведенные экспериментальные результаты показывают возможность возбуждения и регистрации эмиссионных спектров малого количества вещества на основе эффекта полного внутреннего отраже-

ния при получении плазмы с помощью лазерного пробоя, что позволяет существенно повысить соотношение «сигнал/шум» спектральных характеристик и уменьшить влияние излучения от вещества подложки или сопутствующих примесей на идентификацию определяемого вещества.

На основании проведенного анализа были сделаны выводы о перспективности использования метода ЛИЭС с учетом применения схемы экспериментов на основе явления полного внутреннего отражения для исследования состава вещества при его малых количествах, а приведенные экспериментальные результаты подтверждают справедливость полученных выводов.

Приведенные в статье материалы могут быть полезны при разработке новых методов и оборудования, применяемых при анализе малого количества исследуемого вещества, например, тонких пленок, осажденных на поверхности подложки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кремерс Д., Радziemски Л. Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия. – М. : Техносфера, 2009. – 360 с.
2. Харрик Н. Спектроскопия внутреннего отражения. – М. : Мир, 1970. – 336 с.
3. Троян В. И., Пушкин М. А. Приборы и методы измерения химического состава и структуры нанобъектов. – М. : МФТИ, 2011. – 182 с.
4. Большаков А. А., Ганеев А. А., Немец В. М. Перспективы аналитической атомной спектроскопии // Успехи химии. – 2006. – № 4. – С. 322–338.
5. Федоров А. В., Баранов А. В., Литвин А. П., Черевков С. А. Специальные методы измерения физических величин. – СПб. : НИУ ИТМО, 2014. – 127 с.
6. Золотарев В. М., Никоноров Н. В., Игнатъев А. И. Современные методы исследования оптических материалов. – СПб. : НИУ ИТМО, 2013. – 166 с.
7. Anabitarte F., Cobo A., Lopez-Higuera J. M. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Fundamentals, Applications, and Challenges // ISRN Spectroscopy. – 2012. – P. 1–12.
8. Gurevich E. L., Hergenroder R. Femtosecond Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: Physics, Applications, and Perspectives // Applied spectroscopy. – 2007. – Vol. 61(10). – P. 233A–242A.
9. Contreras V., Meneses-Nava M. A., Barbosa-García O. et. al. Double-pulse and calibration-free laser-induced breakdown spectroscopy at low-ablative energies // Optics Letters. – 2012. – Vol. 37 (22). – P. 4591–4593.
10. Чесноков В. В., Чесноков Д. В., Достовалов Н. Н. О возможности исследования параметров нанобъектов по их атомно-эмиссионным спектрам, возбуждаемым лазерным излучением на поверхностях с полным внутренним отражением // Вестник СГУГиТ. – Т. 22, № 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 252–261.

11. Чесноков В. В., Чесноков Д. В. Способ и устройство атомно-эмиссионного спектрального анализа нанобъектов : пат. 2573717 Рос. Федерация. №. 2014124085/28; заявл. 11.06.2014; опубл. 27.01.2016, Бюл. № 3.

12. Dostovalov N. N. Development of laser induced breakdown spectrometer with total internal reflection surface for thin film analysis. 25th International Symposium, Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics // Proceedings of SPIE. – Vol. 11208 (SPIE, Bellingham, WA, 2019).

13. Чесноков Д. В., Чесноков В. В. Разработка перспективных методик исследования атомно-эмиссионного спектра монослоя наночастиц // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 176–183.

14. Свентицкий Н. С. Визуальные методы эмиссионного спектрального анализа. – М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 343 с.

15. Kramida A., Ralchenko Yu., Reader J. NIST ASD Team (2023). NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.11). – URL: [http:// physics.nist.gov/asd](http://physics.nist.gov/asd) (Accessed November 05, 2024).

### Об авторах

*Николай Николаевич Достовалов* – старший преподаватель кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии.

*Галина Вячеславна Симонова* – кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии.

Получено 08.11.2024

© Н. Н. Достовалов, Г. В. Симонова, 2025

## A Comparative Study of Techniques for Analyzing Material Composition Using Spark Emission Spectroscopy

*N. N. Dostovalov<sup>1</sup>✉, G. V. Simonova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: [dostovalov@ssga.ru](mailto:dostovalov@ssga.ru)

**Abstract.** There is growing interest in analytical methods capable of accurately determining the composition of substances at trace levels. Traditional techniques are often constrained by the minimum sample mass required, which limits their applicability. Furthermore, spark emission spectroscopy, a common analytical method, introduces contaminations from additional substances in the spectral data and may damage both the substrate and the instrumentation. These factors reduce the reliability and precision of quantitative analyses at low sample quantities. The authors present a comparative evaluation of composition analysis methods based on spark emission spectra, highlighting the advantages of optical systems utilizing total internal reflection. Experimental results validate the improved sensitivity and selectivity offered by these optical schemes. The findings suggest promising potential for developing advanced analytical tools aimed at trace substance characterization, such as thin films on substrates, thereby enhancing accuracy and reducing errors in material analysis.

**Keywords:** research methods, spectral characteristics, spark emission method, total internal reflection, small quantity of substance

## REFERENCES

1. Kremers, D., Radziemski, L. (2009). *Laser-spark emission spectroscopy [Lazerno-is-krovaya emissionnaya spektroskopiya]*. Moscow: Tekhnosfera, 360 p. [in Russian].
2. Kharrick, N. (1970) *Internal reflection spectroscopy [Spektroskopiya vnutrennego otrazheniya]*. Moscow: Mir, 336 p. [in Russian].
3. Troyan, V. I., Pushkin, M. A. (2011). *Instruments and methods for measuring the chemical composition and structure of nanoobjects [Pribory i metody izmereniya khimicheskogo sostava i struktury nanoob"ektov]*. Moscow: MIPT, 182 p. [in Russian].
4. Bol'shakov, A. A., Ganeev, A. A., Nemets, V. M. (2006). Prospects of analytical atomic spectrometry *Advances in chemistry [Uspekhi khimii]*, 4, P. 322–338. [in Russian].
5. Fedorov, A. V., Baranov, A. V., Litvin, A. P., Cherevko S. A. (2014). *Special methods for measuring physical quantities [Spetsial'nye metody izmereniya fizicheskikh velichin]*. St. Petersburg: NRU ITMO, 127 p. [in Russian].
6. Zolotarev, V. M., Nikonorov, N. V., Ignat'ev, A. I. (2013). *Modern methods for studying optical materials [Sovremennye metody issledovaniya opticheskikh materialov]*. St. Petersburg: NRU ITMO, 166 p. [in Russian].
7. Anabitarte, F., Cobo, A., & Lopez-Higuera, J. M. (2012). Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Fundamentals, Applications, and Challenges. *ISRN Spectroscopy*, 1–12.
8. Gurevich, E. L., & Hergenroder, R. (2007). Femtosecond Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: Physics, Applications, and Perspectives. *Applied spectroscopy*, 61(10), 233A–242A.
9. Contreras, V., Meneses-Nava, M. A., & Barbosa-García, O. (2012). Double-pulse and calibration-free laser-induced breakdown spectroscopy at low-ablative energies. *Optics Letters*, 37(22), 4591–4593.
10. Chesnokov, V. V., Chesnokov, D. V., Dostovalov, N. N. (2017). On the possibility of studying the parameters of nanoobjects by their atomic emission spectra excited by laser radiation on surfaces with total internal reflection *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(1), P. 252–261 [in Russian].
11. Chesnokov, V. V., Chesnokov, D. V. (2014). Method and device for atomic emission spectral analysis of nanoobjects: patent. 2573717 Russian Federation. No. 2014124085/28; declared. 11.06.2014; published. 27.01.2016, Bulletin No. 3 [in Russian].
12. Dostovalov, N. N. (2019). Development of laser induced breakdown spectrometer with total internal reflection surface for thin film analysis. 25th International Symposium, Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. *Proceedings of SPIE*. Vol. 11208 (SPIE, Bellingham, WA, 2019).
13. Chesnokov, D. V., Chesnokov, V. V. (2015). Development of prospective method for studying the atomic emission spectrum of nanoparticles monolayer. *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* Vol. 1, pp. 176–183. Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
14. Sventitskiy N. S. (1961). *Visual methods of emission spectral analysis [Vizual'nye metody emissionnogo spektral'nogo analiza]*. Moscow: State Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 343 p. [in Russian].
15. Kramida, A., Ralchenko, Yu., Reader, J. NIST ASD Team (2023). NIST Atomic Spectra Database (ver.5.11) Retrieved from <http://physics.nist.gov/asd> (Accessed November 05, 2024).

**Author details**

*Nikolai N. Dostovalov* – Senior Lecturer of the Department of Special Devices, Innovatics and Metrology.

*Galina V. Simonova* – Ph. D., Associate Professor of the Department of Special-Purpose Devices, Innovatics and Metrology.

Received 08.11.2024

© *N. N. Dostovalov, G. V. Simonova, 2025*

УДК 681.7.067.2

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-164-174

## Исследование тенденций в оптических характеристиках инфракрасных объективов с использованием инструментов патентного ландшафта

А. А. Елисеева<sup>1,2,✉</sup>, Т. Н. Хацевич<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Федеральный институт промышленной собственности, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>3</sup> Общество с ограниченной ответственностью «Оптическое Расчетное Бюро», г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: enastusiya@gmail.com

**Аннотация.** Проведено исследование патентной активности на территории мирового сообщества с целью выявления тенденций в оптических характеристиках объективов для инфракрасного приборостроения. Используются специальные методы технического и патентного анализа, патентной аналитики, включая инструменты патентного ландшафта. Исследование проведено по базе данных аналитического сервиса Lens.org. В ходе исследования выявлены определенные тенденции и зависимости, включая вызовы к техническим характеристикам, относительно возможных пределов. Выявлены некоторые тенденции в технических характеристиках запатентованных решений инфракрасных объективов: доминирование объективов для тепловизионных приборов; преобладание объективов с относительными отверстиями выше 1 : 1,5; тренд на повышение относительного отверстия в новых разработках объективов, тенденция на увеличение углового поля.

**Ключевые слова:** патентные исследования, оптические характеристики, тенденции

### Для цитирования:

Елисеева А. А., Хацевич Т. Н. Исследование тенденций в оптических характеристиках инфракрасных объективов с использованием инструментов патентного ландшафта // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 164–174. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-164-174

### Введение

Развитие любой области техники зависит от появления новых технологий и решений. Наиболее практичным и достоверным источником новой информации является раскрытие объектов патентного права, поскольку процесс выдачи патента на техническое решение занимает длительный период времени, требует от авторов точного составления реферата и раскрытия сути изобретения, проходит многоступенчатую проверку специалистами различного уровня из этой области техники, проведение информационного поиска аналогов с целью проверки патентной чистоты и соответствия мировому уровню техники.

Патентная охрана – это не только раскрытие уровня техники, но и должный уровень защиты авторских прав и их патентообладателей. Этот инструмент позволяет охранять авторские права, анализировать права патентообладателей. Интеллектуальная собственность как достаточно молодая сфера деятельности человека обладает не только современностью и актуальностью, но и практической применимостью. Результаты интеллектуальной собственности имеют повсеместное распространение и доступность за счет достигнутого уровня автоматизации и цифровизации современного мира. В свою очередь анализ результатов интеллектуальной собственности обеспечивает информационный задел, которым

можно воспользоваться для создания новшества. Цель исследования: проанализировать запатентованные решения оптических систем типа объектив, предназначенные для работы в инфракрасной (ИК) области спектра и выявить тенденции в их технических характеристиках. Объект исследования – патентная активность в области ИК объективов. Предмет исследования – оптические характеристики, а именно: угловое поле и относительное отверстие, раскрытые в патентных документах по территории мирового сообщества.

### Методы и материалы

В исследовании использованы как общенаучные, так и специальные научные методы. К последним относятся методы патентной аналитики и специальные методы оптоэлектроники [1–8].

Установление тенденций в развитии оптических характеристик ИК объективов проводится посредством патентной аналитики, а именно с применением методологии патентного ландшафта и представлением его результатов в виде патентной и технической инфографики. Отраслевой патентный ландшафт является комплексным инструментом для определения научно-технологических приоритетов и исследования конкурентоспособности перспективных технологий, продуктов и сервисов [9].

Инфографика основана на патентной информации, т. е. сведениях о зарегистрированных и выданных патентах, публикуемых патентными юрисдикциями всех стран мира. При этом раскрытие технической сути изобретений является ключевым свойством патентной информации.

Область исследования (рис. 1) составляет совокупность технических характеристик и классических патентных индикаторов. В первую группу индикаторов включены угловое поле ИК объективов, их относительное отверстие, тип приемника излучений. При проектировании новых опτικο-электронных систем и приборов на этапе схемнотехнического проектирования обоснование выбора этих оптических характеристик рассматривается в источнике [10].

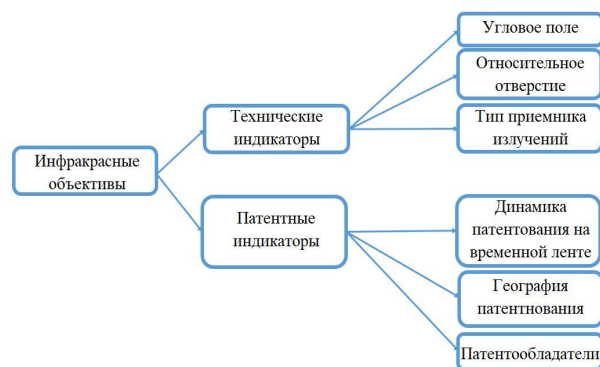


Рис. 1. Модель предметной области патентного ландшафта

Разделы, посвященные патентообладателям и географии патентования, являются типовыми в соответствии с методикой разработки патентного ландшафта проектного офиса Федерального института промышленной собственности [11]. Анализ по указанным техническим индикаторам является нетиповым для патентных исследований и используется авторами для выявления трендов в ИК области приборостроения путем применения методов аналитики и технического познания в узкой области науки и техники.

Патентный поиск начинается с определения разделов патентной классификации. В работе рассматривается как российское, так и мировое патентное сообщество, поэтому в качестве ориентира выбрана международная патентная классификация (МПК), так как она используется подавляющим большинством патентных юрисдикций и полностью входит в состав совместной патентной классификации, применяемой Европейским патентным ведомством и Ведомством по патентам и товарным знакам Соединенных Штатов Америки (США). Поиск проводился в диапазоне 20 лет (2003–2023 гг.), так как продолжительность в 20 лет является стандартным сроком охраны патента на изобретение в различных странах мира.

Для анализа патентов мирового сообщества применяется английский язык как универсальный.

В рамках работы рассматривается один основной раздел МПК G – ФИЗИКА, а именно класс G02 – Оптика, подкласс

G02B – Оптические элементы, системы или приборы. Рассматриваемые группы:

– G02B 9/00 «Объективы, отличающиеся как числом, так и расположением линз в отношении их знака, т. е. + или –» и составляющие ее подгруппы;

– G02B 11/00 «Объективы, отличающиеся по числу или расположению простых или сложных линз, образующих эти объективы» и составляющие ее подгруппы;

– G02B 13/00 «Объективы специального назначения» и составляющие ее подгруппы;

– G02B 15/00 «Объективы со средствами для изменения размеров изображения» и составляющие ее подгруппы.

Исследование оптических ИК систем типа объектив в предложенном диапазоне решений покрывает исследуемую предметную область в полном объеме.

В качестве ключевых слов при поиске обязательно выступают «объектив», «инфракрасный», «ИК», «тепловизионный» и возможные их сочетания, в том числе с использованием операторов баз данных.

Все результаты поиска проверены вручную с целью удаления нерелевантных результатов. Соответствующие результаты классифицированы по оптическим характеристикам, связанным с проектированием ИК оптических систем типа объектив.

### Результаты и обсуждение

В ходе исследования просмотрено более 10 000 охранных документов, включая проведенный поиск по базам данных PATENTSCOPE [12], Европейского патентного ведомства [13]. В целом проанализировано более 3 000 патентов, отобрано 405 охранных документов, из которых 206 имеют предложенные технические решения в количестве 259 штук по интересующим ключевым оптическим характеристикам: угловому полю и относительному отверстию. Остальные охранные документы включают технологическое раскрытие по иным оптическим характеристикам и в рамках проводимой работы не включены в технический анализ, но используются для патентного обзора.

Анализ патентной информации проводится по базе данных сервиса Lens.org [14] с помощью встроенных аналитических инстру-

ментов. Lens.org позиционирует себя как сервис открытых метаданных с инструментами для эффективных и действенных решений.

В ходе анализа выявленной патентной коллекции отмечается, что больший процент нерелевантных откликов возникает из области фотографической оптики, где поисковые запросы сталкиваются с ИК фильтрами для объективов, работающих в видимой области спектра.

Динамика патентования (рис. 2) представлена на временной ленте. Активность в анализируемом направлении показывает, что с 2015 г. объемы патентования сохраняли тенденцию к возрастанию. Указанная тенденция сохраняется по настоящее время и отражает актуальность разработок в исследуемой области. Отмечается, что количество патентов за последнее десятилетие по сравнению с предыдущим увеличилось в 1,7 раз.

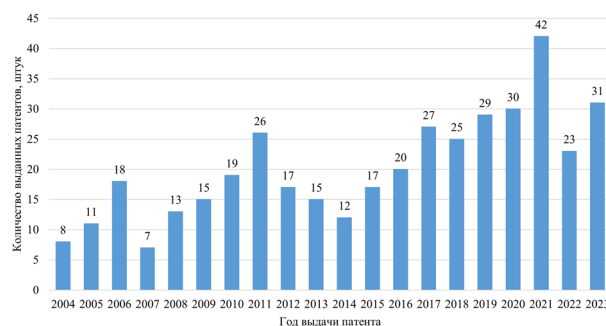


Рис. 2. Динамика патентования в мире в исследуемой области

Карта мира (рис. 3) представлена по юрисдикциям патентования, лидирующие позиции, в порядке убывания, следующие: Китайская Народная Республика (Китай), США, Российская Федерация (РФ). Цвет заливки на рис. 3 тем темнее, чем насыщеннее патентами юрисдикция.

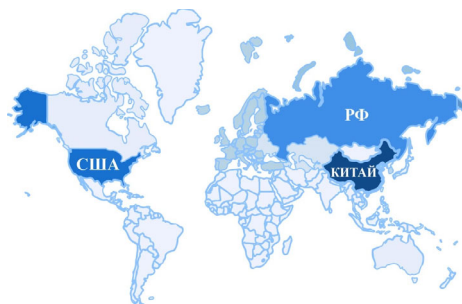


Рис. 3. Карта патентования

Лидирующие позиции по количеству запатентованных решений на территории своей страны занимают Китай и США в количестве охранных документов для них соответственно 160 и 136.

США являются наиболее востребованным рынком для сбыта продукции, так как большое количество запатентованных решений на территории США принадлежит азиатским компаниям из таких стран, как Япония, Тайвань, Южная Корея и Китай. Разработки Китая преимущественно ориентированы на

внутренний рынок, доля экспорта патентов Китая составляет 6 %.

На территории России зафиксировано 68 зарегистрированных патентов, патентообладателями которых являются российские компании.

Распределение патентообладателей (рис. 4) представлено по критерию принадлежности к стране. Наибольший общий процент запатентованных решений имеют патентообладатели из Азии: он составляет 53 %, при этом доля Китая – 41 %.

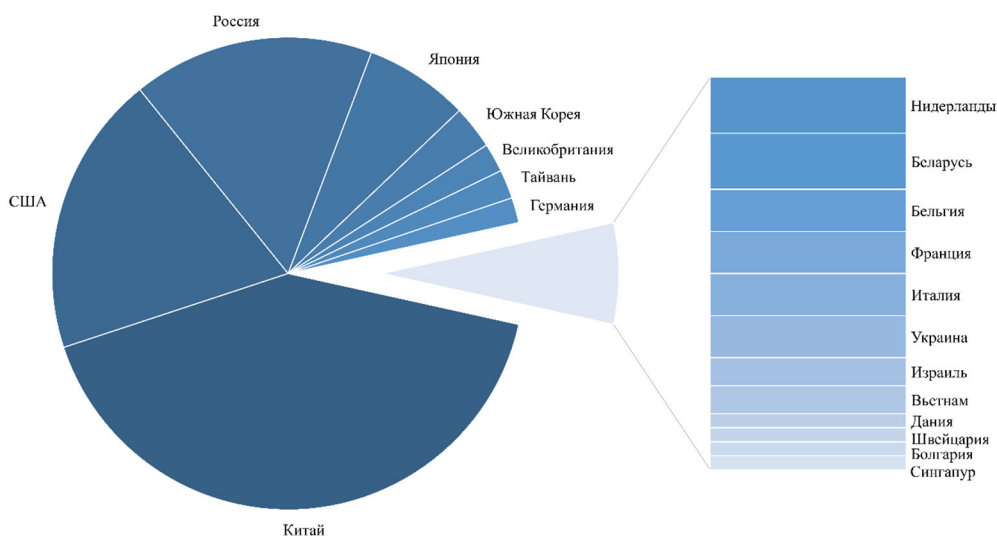


Рис. 4. Диаграмма распределения патентообладателей по странам

В таблице приведена информация по патентообладателям, входящим в первую десятку по количеству патентов.

Патентообладатели

Фирменное наименование	Количество разработок, шт	Страна
«Новосибирский приборостроительный завод»	18	Россия
«Красногорский завод им. С. А. Зверева»	16	Россия
RAYTHEON COMPANY	16	США
FUJIAN FORECAM OPTICS CO LTD	12	Китай
KUNMING NANXU PHOTOELECTRIC TECH CO LTD	10	Китай
NAVITAR INC	9	США
3M INNOVATIVE PROPERTIES CO	7	США
BAE SYSTEMS INFORMATION	6	Великобритания
UNION OPTECH CO LTD	6	Китай
ZHEJIANG SUNNY OPTICS CO LTD	6	Китай

В настоящем анализе по параметру относительного отверстия (рис. 5) проверено 195 технических решений, предложенных в 165 охранных документах. Для удобства записи относительное отверстие анализи-

руется через диафрагменное число  $K$ , обратное значению относительного отверстия. Минимальное значение, принимаемое диафрагменным числом в этом анализе, составляет 0,5, а максимальное – 19,2.

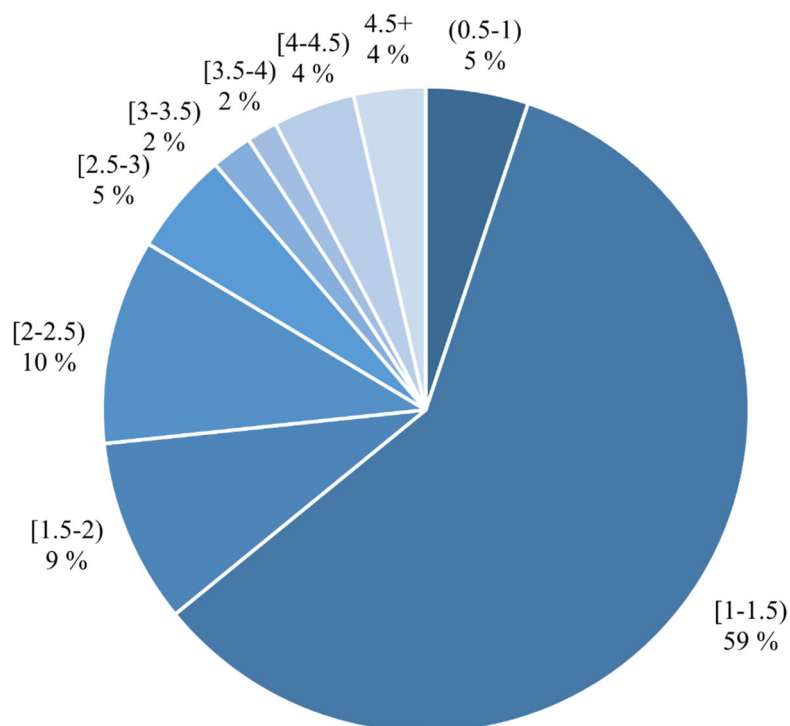


Рис. 5. Распределение ИК объективов в зависимости от диафрагменного числа

Распределение диапазонов диафрагменных чисел от 0,5 до 4,5 заложено с шагом 0,5. Явно заметно доминирование диапазона  $K$  от 1 (включительно) до 1,5 (не включая), в него попадает 115 технических решений. При этом решения с  $K$  от 0,5 (включительно) до 2 (не включая) составляют почти  $\frac{3}{4}$  всех решений патентной коллекции.

Для визуализации изображений в ИК области спектра применяются технологии, основанные на использовании матричных приемников излучений. Из всей патентной коллекции выделено 119 технических решений ИК объективов, которые предназначены для использования с неохлаждае-

мыми матричными приемниками излучений, и 31 техническое решение ИК объективов, которые ориентированы на сопряжение с охлаждаемыми приемниками излучений. Диаграмма (рис. 6) демонстрирует распределение ИК объективов по диафрагменным числам для каждого из указанных типов приемников излучений, на применение с которым ориентирован ИК объектив. При этом для неохлаждаемых приемников излучений шаг диафрагменных чисел ИК объективов принят равным единице, для неохлаждаемых – 0,5 и 0,1 для наиболее весомого диапазона от единицы до 1,6.

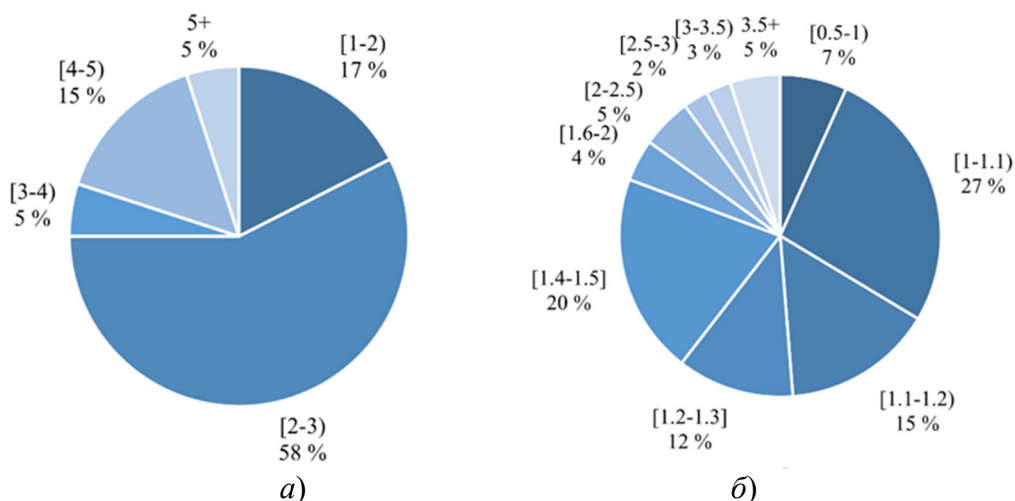


Рис. 6. Распределение диафрагменных чисел ИК объективов для приемников излучений:  
 а) охлаждаемых; б) неохлаждаемых

Отмечается, что в случае работы объектива с неохлаждаемыми приемниками излучений (см. рис. 6, б) почти половина ИК объективов имеют диафрагменные числа менее 1,2, а в подавляющем количестве технических решений (примерно 80 %) значение диафрагменного числа не превышает 1,5.

Почти половина технических решений ИК объективов, ориентированных на сопряжение с охлаждаемыми приемниками излучений

(см. рис. 6, а), имеют диафрагменные числа от 2 до 3.

В виде пузырьковой диаграммы (рис. 7) представлено распределение применяемых значений диафрагменного числа из патентной коллекции на временной ленте. Диаметр пузырька характеризует количество идентичных значений, а координата центра пузырька по оси ординат – значение диафрагменного числа.

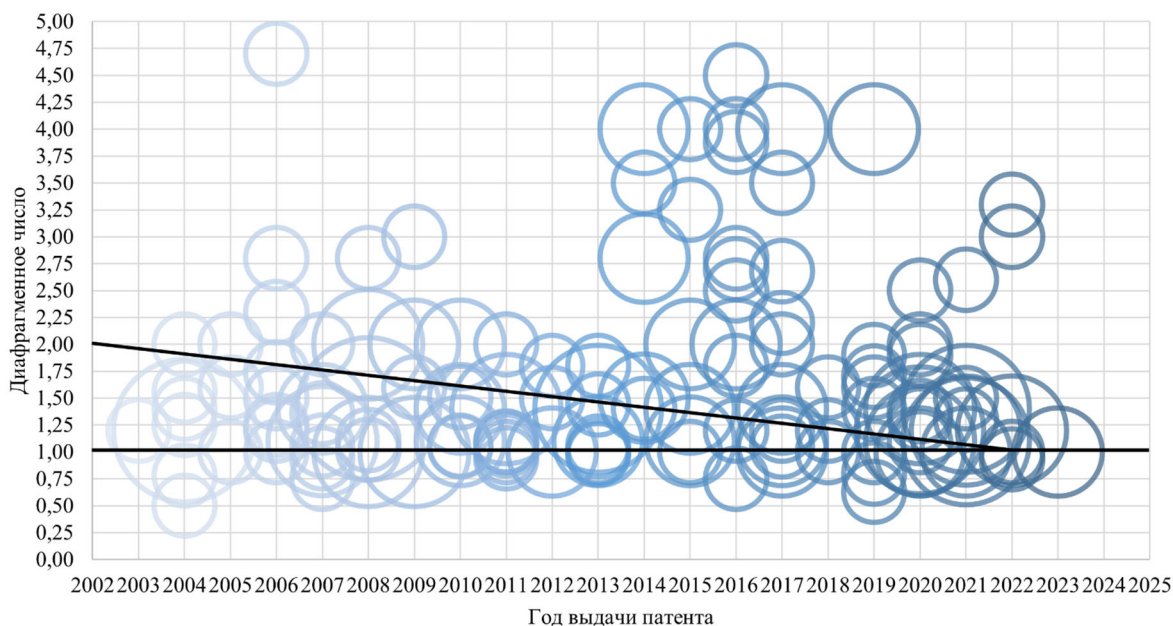


Рис. 7. Распределение диафрагменного числа ИК объективов от времени патентования

Из анализа пузырьковой диаграммы следует, что с каждым годом все в большем количестве технических решений ИК объективов обеспечиваются высокие значения относительных отверстий: диафрагменные числа стремятся к 1. По пересечению скоплений окружностей прослеживается тенденция к уменьшению диафрагменного числа. Наибольшее скопление окружностей демонстрирует, что наибольшее количество ИК объективов имеет диафрагменное число в диапазоне от 1 до 1,5.

Угловое поле в пространстве предметов является важнейшей характеристикой ИК объектива и отражает возможности наблюдения определенной части пространства предметов в ИК диапазоне спектра.

В настоящем исследовании проанализировано 175 технических решений ИК объективов по характеристике углового поля, раскрытых из 122 патентов. На рис. 8 приведено распределение количества ИК объективов в зависимости от углового поля.

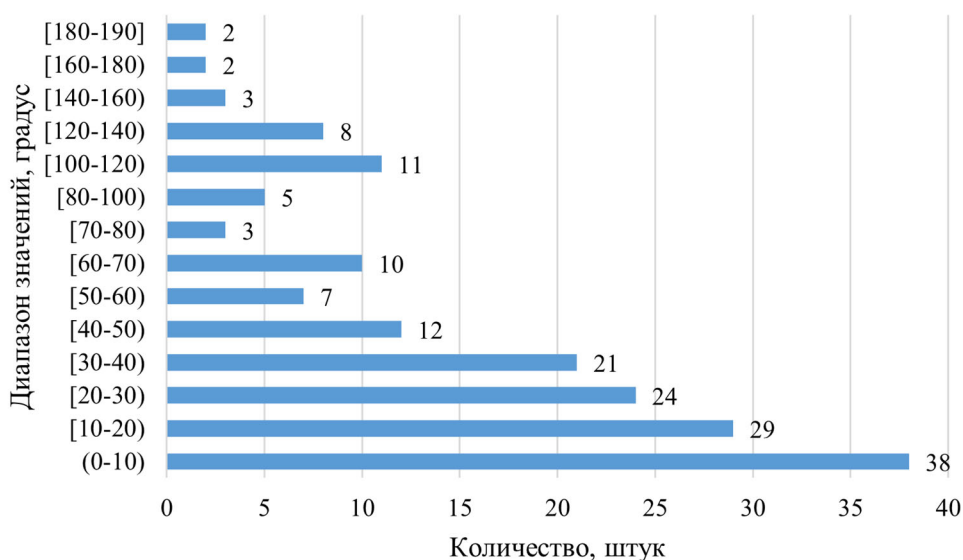


Рис. 8. Распределение ИК объективов по угловому полю

Из гистограммы углового поля следует, что преобладающими являются диапазоны значений углового поля от 0 до 40°. Такими полями обладают 64 % ИК объективов. Наблюдается резкое снижение количества патентов с угловыми полями объективов в диапазоне от 70 до 100°. Выявлен скачок количества патентов ИК объективов с угловыми полями в диапазонах от 60 до 70° и от 100 до 140°.

Сравнение результатов ранее выполненного аналогичного исследования по российским патентам [15] с результатами, представленными на рис. 2, показало наличие аналогичных пиков на временной ленте, приходящихся на 2010–2011 и 2016–2017 гг., при этом рост количества патентов

по ИК объективам за последнее десятилетие по сравнению с предыдущим в РФ составил 40 %, а в мире – 70 %.

### Заключение

В результате проведенного исследования установлено следующее:

- объемы патентования в области ИК оптики имеют тенденцию к возрастанию, в частности за последнее десятилетие количество патентов на территории мирового сообщества по сравнению с предыдущим десятилетием увеличилось на 70 %, что соответствует актуальности разработок в области ИК приборостроения;

- анализ технических индикаторов, раскрытых в патентных документах, позволил

выявить тенденции в области оптических характеристик ИК объективов;

– в группе ИК объективов, ориентированных для сопряжения с неохлаждаемыми приемниками излучений, примерно 80 % объективов имеют относительные отверстия не менее 1 : 1,5, при этом почти половина объективов имеют относительные отверстия 1 : 1,2 и выше;

– в группе объективов, ориентированных на сопряжение с охлаждаемыми приемниками излучений, половина технических решений из исследуемой выборки ИК объективов имеют относительные отверстия в диапазоне от 1 : 2 до 1 : 3;

– наблюдается тенденция к повышению относительного отверстия ИК объективов;

– примерно 64 % ИК объективов имеют угловые поля до 40 °, т. е. относятся к группе нормальных объективов по исторической классификации фотографической оптики. Наблюдается заметное снижение количества патентов на объективы с угловыми полями в диапазоне от 70 до 100 °;

– выявленный скачок в количестве патентов ИК объективов с угловыми полями в диапазонах от 60 до 70 ° и от 100 до 140 °, вероятно, отражает потребности в применении широкоугольных и сверхширокоугольных объективов для решения задач, стоящих перед ИК приборостроением.

Соответствием выявленным тенденциям может служить разработка оптической системы сверхширокоугольного светосильного ретрофокусного атермального инфракрасного объектива [16], обеспечивающего угловое поле по диагонали кадра более 100 ° при относительном отверстии 1 : 1 и сохранении дифракционно ограниченного качества изображения в диапазоне температур эксплуатации от минус 50 до 50 °С.

Рекомендуется при создании патентоспособных технических решений направить усилия на поиск новых схемных решений светосильных широкоугольных и сверхширокоугольных ИК объективов как с фиксированными фокусными расстояниями, так и с переменными.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касьянов П. Е. Современные методы патентной аналитики как инструмент оценки и управления инновационной деятельностью // Управление наукой: теория и практика. – 2019. – Т. 1, № 4. – С. 132–144.

2. Патентная аналитика ФИПС [Электронный ресурс]. – URL: <https://patent-analytics.fips.ru/> (дата обращения: 19.03.2025).

3. Попов Н. В. Подходы к использованию инструментов патентной аналитики при оценке перспективных направлений НИОКР [Электронный ресурс]. – URL: [https://new.fips.ru/upload/medialibrary/Doc\\_Content/popovnv\\_nir.pdf](https://new.fips.ru/upload/medialibrary/Doc_Content/popovnv_nir.pdf) (дата обращения: 19.03.2025).

4. Мазур Н. З., Сухих А. Н. Применение инструментов патентной аналитики при исследовании потенциальных технологических направлений развития организации оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации // Экономика строительства. – 2022. – № 10. – С. 75–79.

5. Кашеварова Н. А., Андреева А. А., Пономарёва Е. И. Цифровые инструменты патентных исследований // Вопросы инновационной экономики. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 1059–1074.

6. Поварова Н. Современные инструменты патентной аналитики [Электронный ресурс]. – URL: <https://rospatent.gov.ru/content/uploadfiles/docs/prezentaciya-povarovoj-10-09-2018.pdf> (дата обращения: 19.03.2025).

7. Архипова М. Ю., Зацман И. М., Шульга С. Ю. Индикаторы патентной активности в сфере информационно-коммуникационных технологий и методика их вычисления // Статистика и экономика. – 2010. – Т. 1, № 4. – С. 93–104.

8. Елисеева А. А., Хацевич Т. Н. Инструменты патентной аналитики при проектировании новых оптических и оптико-электронных приборов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15–17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 6: Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. Т. 6. – С. 92–96.
9. Ена О., Попов Н. Методология разработки патентных ландшафтов проектного офиса ФИПС // Станкоинструмент. – 2019. – № 1. – С. 28–35.
10. Тарасов В. В., Якушенко Ю. Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М. : Логос, 2004. – 444 с.
11. Федеральный институт промышленной собственности: офиц. сайт. – URL: <https://www.fips.ru/> (дата обращения: 19.09.2024). – Обновляется в течение суток.
12. Поисковая система PATENTOSCOPE [Электронный ресурс]. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf> (дата обращения: 19.03.2025).
13. Espacenet. Patent search [Электронный ресурс]. – URL: <https://worldwide.espacenet.com/> (дата обращения: 19.03.2025).
14. Lens.org [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lens.org/> (дата обращения: 19.03.2025).
15. Елисеева А. А., Хацевич Т. Н. Выявление тенденций в оптических характеристиках объективов для инфракрасного приборостроения по результатам исследования патентной активности на территории Российской Федерации // Приборы. – 2025. – № 3 (297). – С. 26–35.
16. Патент РФ № 2837522 Сверхширокоугольный светосильный ретрофокусный атермальный инфракрасный объектив / Хацевич Т. Н., Елисеева А. А. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий». Приоритет от 19.11.2024.

### Об авторах

*Анастасия Александровна Елисеева* – магистрант кафедры фотоники и приборостроения СГУГиТ; государственный эксперт по интеллектуальной собственности Федерального института промышленной собственности (ФИПС).

*Татьяна Николаевна Хацевич* – кандидат технических наук, профессор кафедры фотоники и приборостроения СГУГиТ; генеральный директор ООО «Оптическое Расчетное Бюро».

Получено 23.06.2025

© А. А. Елисеева, Т. Н. Хацевич, 2025

### Exploring trends in infrared lens optics through patent landscape analysis

*A. A. Eliseeva<sup>1,2✉</sup>, T. N. Khatsevich<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Federal Institute of Industrial Property, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup> LLC "Optical Settlement Bureau", Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: [enastusiya@gmail.com](mailto:enastusiya@gmail.com)

**Abstract.** A global patent activity to identify trends in optical characteristics of lenses for infrared instrumentation was investigated in the study. Using advanced technical and patent analysis methods, including patent landscaping tools applied to the Lens.org database, the research reveals key trends and technical challenges. Results indicate a dominance of lenses designed for thermal imaging de-

vices, a prevalence of lenses with relative apertures exceeding 1:1.5, an increasing trend toward larger relative apertures in new designs, and an expansion of angular fields of view.

**Keywords:** patent studies; optical characteristics; trends

## REFERENCES

1. Kasyanov, P. E. (2019). Modern methods of patent analytics as a tool for evaluation and management of innovation activity. *Upravleniye naukov: teoriya i praktika [Science Management: Theory and Practice]*, 1(4), 132–144.
2. Federal Institute of Industrial Property (FIIPS). Patents Analytics. Retrieved from <https://patent-analytics.fips.ru> March 19, 2025 [in Russian].
3. Popov, N. V. (n.d.). Approaches to using tools of patent analytics in assessing promising directions of R&D. Retrieved from [https://new.fips.ru/upload/medialibrary/Doc\\_Content/popov\\_nv\\_nir.pdf](https://new.fips.ru/upload/medialibrary/Doc_Content/popov_nv_nir.pdf) March 19, 2025 [in Russian].
4. Mazur, N. Z., Sukhikh, A. N. (2022). Application of patent analysis tools in researching potential technological development directions of Russian defense industry organizations. *Ekonomika stroitel'stva [Construction Economics]*, 10, 75–79 [in Russian].
5. Kashevorova, N. A., Andreeva, A. A., Ponomareva, E. I. (2020). Digital Tools for Patent Research. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. [Innovation Economy Issues]*, 10(2), 1059–1074 [in Russian].
6. Povarova, N. (n. d.). Modern tools of patent analytics. Retrieved from <https://rospatent.gov.ru/content/uploadfiles/docs/prezentaciya-povarovoj-10-09-2018.pdf> March 19, 2025 [in Russian].
7. Arkhipova, M. Yu., Zatsman, I. M., Shulga, S. Yu. (2010). Indicators of patent activity in the field of information-communication technologies and their calculation methodology. *Statistika i ekonomika [Statistics and Economics]*, 1(4), 93–104 [in Russian].
8. Eliseeva, A. A., Khatevich, T. N. (2024). Tools of patent analytics in designing new optical and optoelectronic devices. *Interespo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* Vol. 6, pp. 92–96 [in Russian].
9. Ena, O., Popov, N. (2019). Methodology for developing patent landscapes by FIIPS project office. *Stankoinstrument. [Tool & Die Manufacturing]*, 1, 28–35 [in Russian].
10. Tarasov, V. V., Yakushenkov, Y. G. (2004). Infrared Systems of the Watching Type. *Moscow: Logos* [in Russian].
11. Federal Institute of Industrial Property (FIIPS). Official website. Retrieved from <https://www.fips.ru> (updated daily) September 19, 2024 [in Russian].
12. WIPO. PATENTSCOPE Search System. Retrieved from <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf>. March 19, 2025.
13. European Patent Office. ESPACENET Patent Search. Retrieved from <https://worldwide.espacenet.com>. March 19, 2025.
14. The Lens Organization. Retrieved from <https://www.lens.org>. March 19, 2025.
15. Eliseeva, A. A., Khatevich, T. N. (2025). Identification of trends in optical characteristics of objectives for infrared instrumentation based on patent activity research within Russia. *Pribory [Instruments]*, 3(297), 26–35 [in Russian].
16. Eliseeva, A. A., Khatevich, T. N. Patent RU No. 2837522. Novosibirsk: Siberian State University of Geosystems and Technology.

**Author details**

*Anastasia A. Eliseeva* – MS, Department of Photonics and Device Engineering; State Expert in intellectual property, Federal Institute of Industrial Property.

*Tatyana N. Khatsevich* – Ph. D., Professor, Department of Photonics and Device Engineering; Director General of LLC "Optical Settlement Bureau".

Received 23.06.2025

© *A. A. Eliseeva, T. N. Khatsevich, 2025*

## ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

**КОНСТАНТИНУ ФЕДОРОВИЧУ АФОНИНУ,  
КАНДИДАТУ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ВЕТЕРАНУ СГУГИТ – 80 ЛЕТ**  
**TO THE 80-th ANNIVERSARY OF KONSTANTIN FEDOROVICH AFONIN,  
CANDIDATE OF TECHNICAL SCIENCES, VETERAN OF SSUGT**



Константин Федорович Афонин родился 3 ноября 1945 г. в г. Новосибирске, в 1963 г. поступил, а в 1968 г. закончил НИИГАиК по специальности «Астрономо-геодезия» и остался работать в институте ассистентом кафедры высшей геодезии (ныне – космической и физической геодезии).

Закончил целевую аспирантуру на кафедре вычислительной математики НИИГАиК и в 1979 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Применение нелинейного программирования для решения некоторых задач оптимального проектирования геодезических построений», в 1983 г. получил ученое звание «доцент».

За время работы в НИИГАиК – СГГА – СГУГИТ Константин Федорович проявил себя как высококвалифицированный, авторитетный педагог, постоянно совершенствующий свой профессиональный уровень. Константин Федорович – ведущий специалист в области построения и уравнивания государственных

геодезических сетей, один из разработчиков современной региональной системы координат, крупный ученый в области высшей геодезии и координатных преобразований, автор 55 научных и учебно-методических работ.

Отмечен наградами: «Отличник высшей школы» и «Отличник геодезии и картографии», «Почетный геодезист», почетными знаками «За отличные успехи в работе», «За труд на благо города» в честь 110-летия и 115-летия со дня основания г. Новосибирска, почетными грамотами администрации Ленинского района г. Новосибирска и правительства Новосибирской области.

Константин Федорович завершил трудовую деятельность в 2021 г. Общий стаж его научно-педагогической работы в НИИГАиК – СГГА – СГУГИТ составил 53 года.

За плечами Константина Федоровича огромное количество студентов, дипломников, его с благодарностью вспоминают выпускники вуза, которым очень пригодились

переданные опыт и знания по высшей геодезии, особенно по вопросам преобразования систем координат.

Константин Федорович остается в составе кафедры космической и физической геодезии

СГУГиТ как специалист, к которому можно обратиться с техническими вопросами за консультацией, за поддержкой, а также как прекрасный человек, не стареющий душой, общение с которым всегда приносит радость.



*Редакция журнала сердечно поздравляет юбиляра и желает ему крепкого здоровья и благополучия!*