

ВЕСТНИК СГУГиТ

(Сибирского государственного университета геосистем и технологий)

Научный журнал

Том 31, № 3

2026

VESTNIK SSUGT

(Siberian State University of Geosystems and Technologies)

Scientific journal

Volume 31(3)

2026

Вестник СГУГиТ

Рецензируемый научный журнал «Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)» основан в 1996 г. в целях активизации научно-исследовательской и инновационной деятельности университета, усиления интеграции вузовской науки с академической.

Журнал «Вестник СГУГиТ» предназначен для публикации оригинальных теоретических и научно-практических результатов исследований, изложенных на русском и английском языках

Разделы журнала

- Геодезия и маркшейдерия
- Дистанционное зондирование Земли, фотограмметрия
- Картография и геоинформатика
- Землеустройство, кадастр и мониторинг земель
- Оптико-электронные приборы и комплексы
- Метрология и метрологическое обеспечение
- Методология научной и образовательной деятельности

ISSN	2411-1759 (Print) 3033-7933 (Online)
Наименование органа зарегистрировавшего издание	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций – свидетельство ПИ № ФС 77-62654 от 10 августа 2015 г.
Периодичность	6 раз в год
О журнале	Научный журнал издается с 1996 г. 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. 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
Типография	Издательско-полиграфический центр СГУГиТ, 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.
Адрес редакции и издателя	630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.
Сайт	http://vestnik.sgugit.ru
Контактные данные	E-mail: vestnik@snga.ru Тел. (383)343-12-55
Распространение	Свободная цена.

Дата выхода в свет 30.06.2026. Формат 60 × 84 1/8.
Усл. печ. л. 22,32. Тираж 100 экз. Заказ 118.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Обиденко Владимир Иванович – канд. техн. наук, доцент, СГУГиТ, г. Новосибирск, Российская Федерация.

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Лисицкий Дмитрий Витальевич – д-р техн. наук, профессор, СГУГиТ, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Уставич Георгий Афанасьевич – д-р техн. наук, профессор, СГУГиТ, г. Новосибирск, Российская Федерация.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Айрапетян Валерик Сергеевич – д-р техн. наук, доцент, СГУГиТ, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Байков Константин Станиславович – д-р биол. наук, старший научный сотрудник, СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Гиенко Геннадий Анатольевич – канд. техн. наук, профессор, университет Аляски, Анкоридж, США.

Жарников Валерий Борисович – канд. техн. наук, профессор, СГУГиТ, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Златанова Сиси – PhD, профессор, Университет Нового Южного Уэльса, Австралия.

Комиссаров Александр Владимирович – д-р техн. наук, доцент, СГУГиТ, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Конечны Милан – доктор техн. наук, профессор, Университет Масарик, Брно, Чешская Республика.

Копейкин Сергей Михайлович – д-р физ.-мат. наук, профессор, Университет Миссури, США.

Кравцов Юрий Васильевич – д-р биол. наук, профессор, НГПУ, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Левин Евгений Леонидович – PhD, профессор, Медицинский колледж Мехарри, США.

Мазурова Елена Михайловна – д-р техн. наук, профессор, ППК «Роскадастр», г. Новосибирск, Российская Федерация.

Похиленко Николай Петрович – д-р геол.-минерал. наук, академик РАН, СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Романовский Олег Анатольевич – д-р физ.-мат. наук, ИОА СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Сизов Александр Павлович – д-р техн. наук, профессор, МИГАиК, г. Москва, Российская Федерация.

Тикуннов Владимир Сергеевич – д-р геогр. наук, профессор, МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация.

Тимофеев Владимир Юрьевич – д-р физ.-мат. наук, профессор, ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Толстиков Александр Сергеевич – д-р техн. наук, профессор, ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии», г. Новосибирск, Российская Федерация.

Трубина Людмила Константиновна – д-р техн. наук, профессор, СГУГиТ, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Хорошилов Валерий Степанович – д-р техн. наук, доцент, СГУГиТ, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Шаповалов Дмитрий Анатольевич – д-р техн. наук, профессор, ГУЗ, г. Москва, Российская Федерация.

Эпов Михаил Иванович – д-р техн. наук, академик РАН, ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация.

Ягер Райнер Рудольф – доктор техн. наук, профессор, Университет прикладных наук, г. Карлсруэ, Германия.

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:

Технический редактор журнала: Рыжова Виктория Андреевна.

Перевод на английский язык: Мусихин Игорь Александрович.

Редактор: Георгиевская Ольга Владимировна.

Компьютерная верстка: Рыжова Виктория Андреевна.

Дизайн обложки: Лесных Яна Анатольевна.

Vestnik of SSUGT

The peer-reviewed scientific journal "Vestnik SSUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)" was established in 1996 to advance the university's research and innovation activities and to enhance integration between university and academic science.

The "Vestnik SSUGT" is intended for publishing original theoretical and applied research findings, presented in Russian or English.

Sections of the journal

- Geodesy and Mining Surveying
- Remote Sensing of the Earth and Photogrammetry
- Cartography and Geoinformatics
- Land Management, Cadastre and Land Monitoring
- Optoelectronic devices and Complexes
- Metrology and Metrological Support
- Methodology of Research and Educational Activities

ISSN	2411-1759 (Print) 3033-7933 (Online)
Registering Authority	The journal is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media – certificate PI No. FS 77-62654 dated August 10, 2015
Frequency	6 issues per year
About journal	The journal has been published since 1996. Prior to 2015, it was issued under the title «Vestnik SSGA». Since 2017, the journal's numbering includes the volume number (sequential year of publication) and the issue number within the current year. The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications of the Supreme State Commission for Academic Degrees and Titles (VAK). The journal is indexed in the Russian Index of Scientific Citation (RSCI) and the current version of the White List.
Subscription indexes	"Russian Press" – 43809 Electronic catalogue "Russian Press" – 438093
Printing house	SSUGT Publishing and Printing Center 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108
Editors office and publisher address	10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108
Website	http://vestnik.sgugit.ru
Contact details	E-mail: vestnik@snga.ru Phone: +7(383)343-12-55
Distribution Terms	Offered at a free-market price

Issue data 30.06.2026. Format 60 × 84 1/8.
Conv. pr. sheets 22,32. Circulation 100 copies. Order 118.

CHIEF EDITOR

Obidenko Vladimir Ivanovich – PhD, Associate Professor, SSUGT, Novosibirsk, Russian Federation.

DEPUTY EDITORS-IN-CHIEF:

Lisickij Dmitrij Vital'evich – DSc, Professor, SSUGT, Novosibirsk, Russian Federation.

Ustavich Georgij Afanas'evich – DSc, Professor, SSUGT, Novosibirsk, Russian Federation.

EDITORIAL BOARD:

Ajrapetjan Valerik Sergeevich – DSc, Associate Professor, SSUGT, Novosibirsk, Russian Federation.

Bajkov Konstantin Stanislavovich – DSc, Senior Researcher, SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation.

Gienko Gennadij – PhD, Professor, University of Anchorage, USA.

Zharnikov Valery Borisovich – PhD, Professor, SSUGT, Novosibirsk, Russian Federation.

Zlatanova Sisi – PhD, Professor, University of New South Wales, Australia.

Komissarov Aleksandr Vladimirovich – DSc, Associate Professor, SSUGT, Novosibirsk, Russian Federation.

Konečný Milan – DSc, Professor, Masaryk University, Brno, Czech Republic.

Kopejkin Sergej Mihajlovich – DSc, Professor, University of Missouri, USA.

Kravcov Jurij Vasil'evich – DSc, Professor, NSRU, Novosibirsk, Russian Federation.

Levin Eugene – PhD, Professor, Meharry Medical College, USA.

Mazurova Elena Mihajlovna – DSc, Professor, PLC "Roskadastr", Novosibirsk, Russian Federation.

Pohilenko Nikolaj Petrovich – DSc, Academician of RAS, SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation.

Romanovskij Oleg Anatol'evich – DSc, SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation.

Sizov Aleksandr Pavlovich – DSc, Professor, MIIGAiK, Moscow, Russian Federation.

Tikunov Vladimir Sergeevich – DSc, Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation.

Timofeev Vladimir Jur'evich – DSc, Professor, IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation.

Tolstikov Aleksandr Sergeevich – DSc, Professor, SibNIM, Novosibirsk, Russian Federation.

Trubina Ljudmila Konstantinovna – DSc, Professor, SSUGT, Novosibirsk, Russian Federation.

Horoshilov Valerij Stepanovich – DSc, Associate Professor, SSUGT, Novosibirsk, Russian Federation.

Shapovalov Dmitrij Anatol'evich – DSc, Professor, State University of Land Management, Moscow, Russian Federation.

Jepov Mihail Ivanovich – DSc, Academician of RAS, IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation.

Jaeger Reiner Rudolf – DSc, Professor, University of Applied Science, Karlsruhe, Germany.

EDITORIAL STAFF:

Technical editor: Ryzhova Victoria Andreevna.

English language translation: Musikhin Igor Aleksandrovich.

Editor: Georgievskaja Olga Vladimirovna.

Computer Layout: Ryzhova Viktoria Andreevna.

Cover Design: Lesnykh Iana Anatolyevna.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ

<i>Андреев И. Т.</i> Анализ комплексного геодинимического мониторинга деформаций борта карьера с использованием радарной интерферометрии и лазерного сканирования	8
<i>Гиенко Е. Г., Ганагина И. Г., Опритова О. А.</i> Оценка разностей физических высот, получаемых методом хронометрического нивелирования, с высотами в нормальной системе	18
<i>Уставич Г. А., Баранников Д. А., Рябова Н. М., Калиакпаров Р. Е.</i> Исследование методик высокоточного определения постоянной поправки комплекта тахеометра.....	27

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

<i>Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Тутанова М. С., Леонов Н. Н.</i> Влияние ошибок параметров калибровки камеры на точность вычисления объемов горной массы при съемке, выполненной беспилотными авиационными системами	37
<i>Сквазников М. А., Колыгин Д. Л.</i> Применение данных аэро- и космических съемок в задачах оптимизации логистики морских контейнерных терминалов	49

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

<i>Аскаров Р. Р., Крылов С. А.</i> Формализация выбора оптимальных способов представления информации о динамике географических объектов	62
<i>Донковцев В. Г.</i> Методика ведения цифровой дежурной топографической карты с использованием информационного взаимодействия с ведомственными земельно-информационными системами	72
<i>Камынина Н. Р., Портнов А. М.</i> Цифровые трехмерные модели: горизонты применения для кадастра недвижимости	84
<i>Логонов Д. С., Беленко В. В., Баранова Н. И.</i> Картографическое обеспечение оценки перспектив нефтегазоносности по данным дистанционного зондирования Земли и морских сейсморазведочных работ	96
<i>Пошивайло Я. Г.</i> Современные тенденции, проблемы и задачи картографии.....	108
<i>Трофимова А. В.</i> Разработка ГИС-сервиса для тематической обработки данных гиперспектральных и мультиспектральных оптико-электронных систем	121
<i>Флеенко А. С.</i> Тематическое пространственное моделирование и визуализация объектов, не имеющих четко определенных границ	131

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

<i>Гилёва Л. Н., Веселова М. Н., Балтабеков С. А., Дячук А. Е.</i> Методика создания геоинформационной базы данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований северной зоны Омской области с применением ГИС-технологий.....	143
<i>Гура Д. А., Работягов Д. Б.</i> Методика информационного обеспечения Национальной системы пространственных данных результатами инженерных обследований объектов недвижимости	155
<i>Жагипарова Т. Т., Музыка О. С., Добротворская Н. И., Малыгина О. И.</i> Формирование системы мониторинга для выявления неиспользуемых сельскохозяйственных земель Республики Казахстан.....	165
<i>Нгендаменья Э., Сизов А. П.</i> Рекультивация нарушенных земель при отработке месторождений полезных ископаемых: вызовы и решения, мировой опыт	176

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<i>Никонов А. В., Лесных Я. А.</i> Иван Васильевич Лесных – геодезист, ученый, ректор (к 90-летию со дня рождения).....	184
---	-----

Volume 31(3), 2026

CONTENTS

GEODESY AND MINING SURVEYING

- Andreev I. T.* Analysis of comprehensive geodynamic monitoring of open-pit bench deformations using radar interferometry and terrestrial laser scanning 8
- Gienko E. G., Ganagina I. G., Opritiva O. A.* Comparison of physical heights from chronometric leveling with orthometric heights 18
- Ustavich G. A., Barannikov D. A., Ryabova N. M., Kaliakparov R. E.* A comparative study of techniques for precise determination of total station kit constant correction..... 27

REMOTE SENSING OF THE EARTH AND PHOTOGRAMMETRY

- Mogilny S. G., Sholomitskii A. A., Tutanova M. S., Leonov N. N.* Impact of camera calibration parameter errors on the accuracy of rock mass volume estimation using unmanned aerial systems..... 37
- Skvaznikov M. A., Kolygin D. L.* Leveraging airborne and spaceborne remote sensing data for optimization of maritime container terminal logistics..... 49

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

- Askarov R. R., Krylov S. A.* Formalizing the selection of optimal approaches to represent the dynamics of geographic objects..... 62
- Donkovtsev V. G.* Methodology for maintaining a digital duty topographic map by integrating with land information systems stems 72
- Kamynina N. R., Portnov A. M.* 3D digital models in cadastre: applications and strategic outlook for property registration..... 84
- Loginov D. S., Belenko V. V., Baranova N. I.* Cartographic methods for assessing hydrocarbon prospectivity using remote sensing and marine seismic survey data 96
- Poshivaylo Y. G.* Current trends, key challenges, and priority tasks in cartography 108
- Trofimova A. V.* GIS-based service for thematic processing of hyperspectral and multispectral optoelectronic data 121
- Fleenko A. S.* Thematic spatial modeling and visualization of objects with fuzzy boundaries 131

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

- Gileva L. N., Veselov M. N., Baltabekov S. A., Dyachuk A. E.* GIS framework for mapping land use and natural resource management in northern municipalities of the Omsk region 143
- Gura D. A., Rabotyagov D. B.* A methodological framework for incorporating real estate engineering surveys into the National Spatial Data System..... 155
- Zhagiparova T. T., Musica O. S., Dobrotvorskaya N. I., Malygina O. I.* A framework for monitoring and mapping unused agricultural lands in Kazakhstan 165
- Ngendamanya E., Sizov A. P.* Land reclamation in mineral resource extraction: challenges, solutions, and international practices..... 176

METHODOLOGY OF RESEARCH AND EDUCATIONAL ACTIVITIES

- Nikonov A. V., Lesnykh I. A.* Ivan V. Lesnykh – geodesist, scientist, rector: a tribute on the 90th anniversary of his birth. 184

Научно-практическая статья/Research article

УДК 528.48:528.88: 528.721.212.6

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-8-17>

Анализ комплексного геодинамического мониторинга деформаций борта карьера с использованием радарной интерферометрии и лазерного сканирования

И. Т. Андреев¹✉

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

e-mail: vano.tim0feevich@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты и анализ данных геодинамического мониторинга масштабной деформации западного борта карьера. Комплексный мониторинг осуществлялся с применением наземного интерферометрического радара Ground Probe SSR-381 XT и лазерного сканирования системой Maptek SR3. Рассмотрены практические аспекты интерпретации данных в режиме реального времени, выделены ключевые стадии развития деформации, проанализировано влияние техногенных (массовые взрывы) и природных (атмосферные осадки) факторов на кинематические параметры смещений. Особое внимание уделено адаптации методики мониторинга в процессе развития аварийной ситуации, включая перенастройку пороговых значений сигналов тревоги и анализ ограничений используемых методов. На основе данных лазерного сканирования построена 3D-модель поверхности скольжения и выполнен прогноз объема развала. Разработанный и апробированный комплексный подход позволил обеспечить безопасное ведение горных работ в условиях активного смещения массива и минимизировать экономические потери от простоев.

Ключевые слова: карьер, наземный интерферометрический радар, развал, прогнозирование, безопасность горных работ

Для цитирования:

Андреев И. Т. Анализ комплексного геодинамического мониторинга деформаций борта карьера с использованием радарной интерферометрии и лазерного сканирования. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 8–17. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-8-17>

Analysis of comprehensive geodynamic monitoring of open-pit bench deformations using radar interferometry and terrestrial laser scanning

I. T. Andreev¹✉

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

e-mail: vano.tim0feevich@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a comprehended geodynamic monitoring campaign addressing large-scale deformation of the western open-pit bench. The monitoring was conducted using a ground-based interferometric radar (GroundProbe SSR-381 XT) in combination with terrestrial laser scanning (Maptek SR3). The study describes a workflow for real-time data interpretation, delineates the principal stages of deformation development, and quantifies the influence of anthropogenic (mass blasting) and natural (precipitation) factors on the kinematic characteristics of displacement. Particular emphasis is placed on adaptation of the monitoring methodology during the evolution of the emergency, including recalibration of alarm thresholds and evaluation of the limitations inherent to the employed techniques. Using terrestrial laser scanning data, a three-dimensional model of the open-pit sliding surface was constructed and a forecast of the collapse volume was produced. The results indicate that the implemented comprehensive monitoring enabled the safe continuation of mining operations amid active mass movement and reduced economic losses associated with open-pit downtime.

Keywords: open-pit mine, ground-based interferometric radar, collapse, forecasting, mining safety

For citation:

Andreev I. T. (2026). Analysis of comprehensive geodynamic monitoring of open-pit bench deformations using radar interferometry and terrestrial laser scanning. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 8–17. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-8-17>

Введение

Актуальность эффективного геодинамического мониторинга на карьерах возрастает с увеличением глубины открытых работ и сложностью инженерно-геологических условий. Современные дистанционные методы, такие как наземная радарная интерферометрия и лазерное сканирование, позволяют с высокой точностью и частотой получать данные о смещениях горного массива в режиме, близком к реальному времени [1]. Однако их комплексное применение в условиях быстроразвивающихся деформаций, осложненных техногенным воздействием, требует разработки специализированных методик интерпретации и адаптации систем оповещения [2]. В последнее десятилетие наземная радарная интерферометрия и лазерное сканирование стали стандартом для мониторинга крупных смещений на горных объектах [3]. Их преимущество перед традиционными инструментальными методами заключается в высокой плотности измеряемых точек, непрерывности контроля и оперативности получения данных. Однако прямое сравнение данных, полученных дистанционными и контактными методами, особенно в сложных геологических и техногенных условиях, остается актуальной задачей. Такое сравне-

ние позволяет не только верифицировать данные, но и оценить систематические погрешности, возникающие из-за влияния атмосферы, геометрии сканирования и изменения свойств поверхности. Таким образом, комплексное применение наземной интерферометрии и лазерного сканирования с обязательной валидацией по контрольным точкам или профилям представляет собой следующую ступень в развитии систем геодинамического мониторинга.

Карьер представляет собой уникальный объект для апробации подобных методик. Возникновение и развитие крупномасштабной деформации в сложных геологических условиях потребовало интеграции данных от различных систем мониторинга для принятия оперативных решений по обеспечению безопасности.

Целью настоящего исследования является обобщение практического опыта комплексного мониторинга крупной деформации западного борта карьера с оценкой эффективности применяемых методик и разработкой рекомендаций для подобных ситуаций.

Задачи исследования:

- проанализировать кинематику развития деформации на основе данных радарного мониторинга и лазерного сканирования;

- оценить влияние внешних факторов (атмосферные осадки, массовые взрывы) на динамику смещений;
- разработать и апробировать методику адаптации системы оповещения в процессе мониторинга;
- выполнить прогноз параметров развала на основе построенной 3D-модели поверхности скольжения.

Объект и методы исследований

Карьер отрабатывался в период с 2019 по 2024 г. Объектом исследования явилась крупная деформация западного борта карьера, возникшая в июле 2023 г. Инженерно-геологические условия борта характеризуются наличием зон тектонической нарушенности с низким значением RQD (показатель качества породы – процент целостности» (≤ 20)), что предопределило их низкую устойчивость [4, 5]. Приблизительный объем вовлеченного в деформацию массива составил около 2,5 млн м³, высота борта – 230 м, ширина – 300 м, глубина трещин отрыва – 30–50 м (рис. 1).

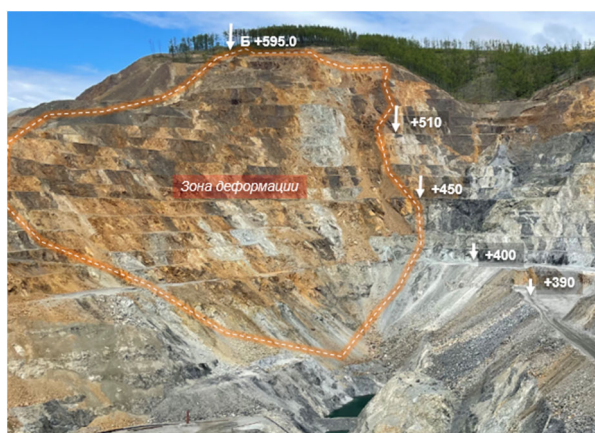


Рис. 1. Деформация западного борта карьера

Для мониторинга использовался комплекс методов:

- наземный интерферометрический радар Ground Probe SSR-381 XT. Принцип действия основан на измерении разности фаз отраженного сигнала между последовательными сканированиями [6, 7]. Точность измерения смещений составляет до 0,1 мм. Радар

работал в режиме непрерывного сканирования с периодом от 5 до 15 минут в зависимости от стадии развития деформации [8];

- лазерное сканирование системой Maptek SR3. Сканирование выполнялось с регулярностью 1–2 раза в неделю, что позволило построить серию высокоточных 3D-моделей (цифровых каркасов) борта [9]. Точность фиксации абсолютных координат достигала 10–20 мм;

- визуальный мониторинг и фотофиксация с использованием БПЛА для документирования макроизменений и верификации данных дистанционных методов.

Развитие деформации условно разделено на три стадии:

- стадия инициации (июнь – июль 2023 г.): локальные вывалы и заколы берм, формирование трещины отрыва;
- стадия интенсивного развития (июль – декабрь 2023 г.): активное смещение массива с пиковыми скоростями, проведение мероприятий по разноске;
- стадия стабилизации (с января 2024 г.): переход к вялотекущему сползанию со скоростями 1–2 м/месяц.

Результаты и обсуждение

Предпосылки к деформации отмечались в 2021–2022 гг., однако активизация процесса произошла в июле 2023 г. после понижения горных работ до горизонтов 420–390 м. 07.07.2023 произошел крупный закол бермы горизонта +390/+450, что послужило началом интенсивного развития трещин вглубь массива (рис. 2).

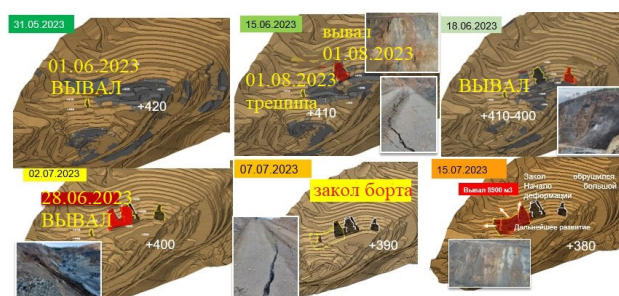


Рис. 2. История развития деформации: июнь – июль 2023 г.

Для разгрузки массива и ликвидации опасности обрушения была проведена двух-этапная разноска [10] объемом 132 000 м³.

Установка радара позволила отслеживать развитие деформации в динамике. К концу ноября 2023 г. деформация окончательно оконтурилась. В декабре 2023 г. был

зафиксирован пик скоростей смещений – до 500 мм/сутки по отдельным пикселям и в среднем 250 мм/сутки по всему массиву (рис. 3). После 11 декабря скорости начали снижаться и деформация перешла в режим квазиустойчивого, вялотекущего сползания (1–2 м/мес).



Рис. 3. Пик скоростей развития деформации

Максимальные локальные скорости достигали 500 мм/сутки, что потребовало введения многоуровневой системы оповещения (табл. 1).

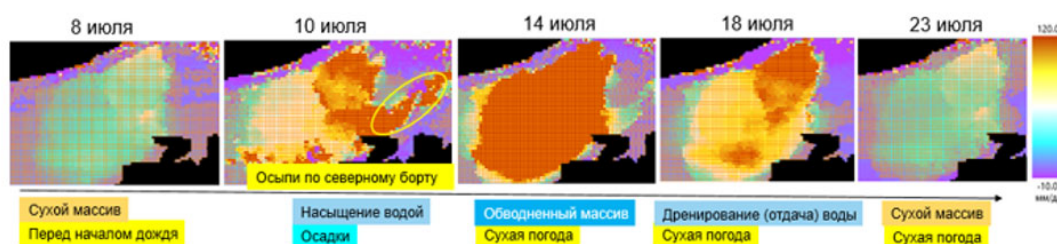
Таблица 1. Пороговые значения системы оповещения

Уровень тревоги	Скорость, мм/ч	Действия
Внимание	5	Усиление наблюдения
Предупреждение	10	Оповещение персонала
Ограничение	15	Приостановка работ в зоне
Эвакуация	20	Немедленная эвакуация

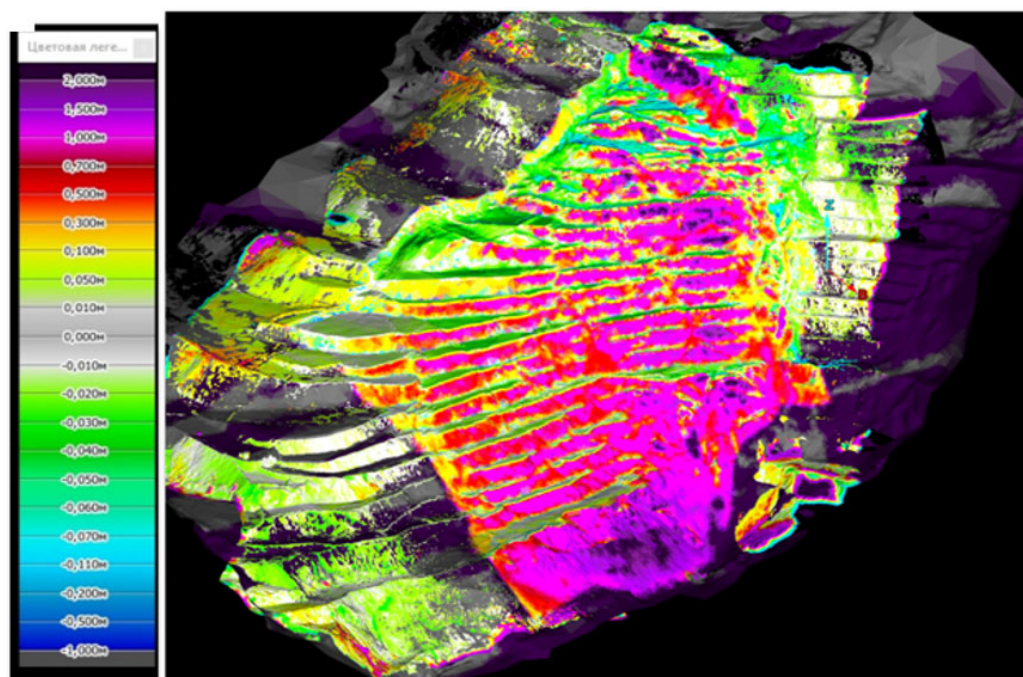
Атмосферные осадки оказали значимое влияние как на физический процесс дефор-

мации, так и на результаты радарных измерений. В период затяжных дождей (8–13 июля 2023 г.) с помощью радарного мониторинга был зафиксирован резкий скачок скоростей смещений до 300–480 мм/сутки по отдельным пикселям.

Для верификации того, что наблюдаемый скачок не является исключительно инструментальной погрешностью, были проанализированы данные лазерного сканирования, выполненные непосредственно после данного дождливого периода (14–15 июля). Построенные по этим данным разностные ЦММ (цифровые модели местности) подтвердили факт реальной активизации смещений: были зафиксированы новые осыпи объемом 3 500 и 3 900 м³ между горизонтами +400 и +510 м, а также увеличение абсолютных смещений на 15 % по сравнению с периодом, предшествующим осадкам (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Скачок скоростей развития деформации в период дождей:

а) интерферограмма сканирования радаром; б) верификация данными лазерного сканирования

Таким образом, скачок скоростей имел двойственную природу: с одной стороны, инфильтрация атмосферных вод в массив привела к снижению прочностных характеристик пород и реальной активизации деформационных процессов, с другой стороны, наличие водной пленки на поверхности породного массива внесло дополнительную составляющую в фазовый сдвиг радарного сигнала, что могло приводить к завышению измеряемых скоростей на 10–30 % в пиковые дни.

Физической причиной этого явления является изменение диэлектрической проницаемости поверхностного слоя породы и возникновение фазового сдвига, связанного с наличием водной пленки.

Массовые взрывы вызывали кратковременное увеличение скоростей смещений на 20–50 %. Для минимизации этого влияния объемы взрывных работ были ограничены 4 000–13 000 м³ для подходных блоков и 30 000 м³ для добычных.

Отключение радара на время взрывов создавало «слепые зоны» в данных [11–14]. Для решения этой проблемы был внедрен многочастотный анализ данных с использованием скользящих временных окон различной длительности (720, 180, 60, 30 минут). Это позволило оперативно выявлять тренды после возобновления сканирования.

Критерий обратной скорости (inverse velocity), широко применяемый для про-

гноза времени обрушения, показал свою неэффективность в условиях данной деформации. График обратной скорости имел прерывистый характер и не позволял построить

достоверный тренд (рис. 5). Это связано с комплексным характером деформации, включающим различные механизмы разрушения.



Рис. 5. График обратной скорости деформации

Данные лазерного сканирования использовались для построения 3D-каркасов деформации и фиксации абсолютных смещений [15]. На рис. 6 представлены сечения, демонстрирующие характер деформации: на верхних горизонтах наблюдалась просадка до 17 м, в то время как горизонтальные смещения достигали 10–12 м.

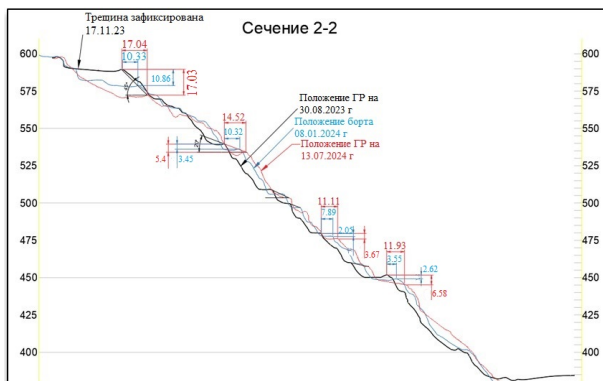


Рис. 6. Наблюдение за смещениями

Сравнение с радарными данными показало систематическое расхождение в величине накопленных смещений на 10–15 % (табл. 2). Вероятными причинами являются:

- накопительный принцип измерений радара, чувствительный к шумам и атмосферным эффектам [16];
- разная геометрия отражения сигнала от неровной поверхности борта;
- влияние изменяющейся влажности на фазовый сдвиг.

Таблица 2. Сравнение смещений, определенных разными методами

Участок	Смещение по радару, м	Смещение по лазерному сканеру Maptek, м	Расхождение, %
Северный	2,1	2,4	14,3
Центральный	3,1	3,5	12,9
Южный	2,8	3,1	10,7

На основе серии лазерных сканов была построена 3D-модель поверхности скольжения (рис. 7). Анализ показал, что деформация развивалась по сложной криволинейной поверхности, что характерно для откосов, сложенных разнородными породами.

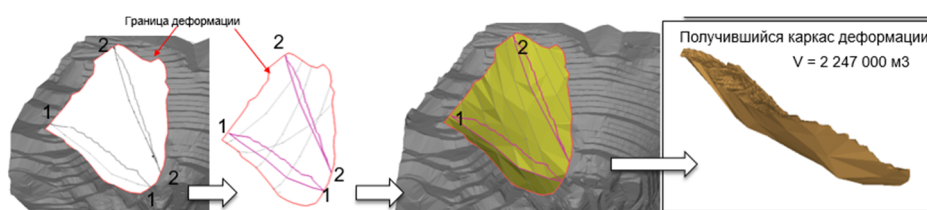


Рис. 7. Построение предполагаемой поверхности скольжения

Полученный каркас был экспортирован в специализированное программное обеспечение BlastMaker для расчета параметров раз-

вала. Прогнозируемый объем горной массы, вышедшей за контур карьера, составил 1 300 000 м³ (рис. 8).

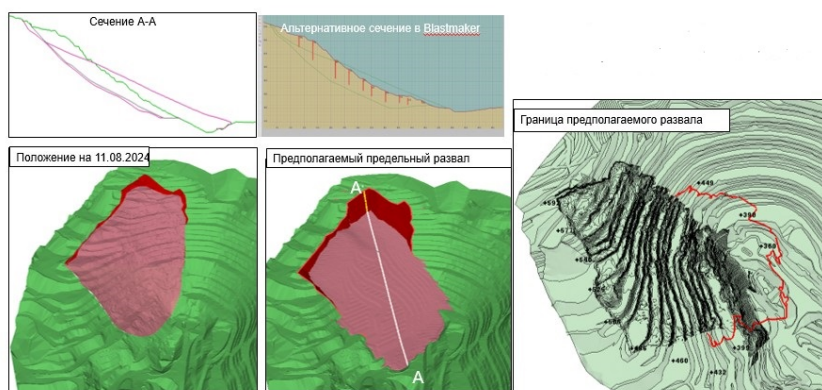


Рис. 8. Полученный объем и граница развала

Заключение

На примере карьера показана эффективность комплексного использования наземной радарной интерферометрии и лазерного сканирования для мониторинга крупномасштабных деформаций. Радар обеспечивает непрерывный контроль кинематики, а лазерное сканирование – высокоточную фиксацию абсолютных смещений и построение геометрической модели деформации.

Выявлено влияние внешних факторов на данные мониторинга: атмосферные осадки увеличивают измеряемые скорости на 30–100 %, а массовые взрывы – на 20–50 %. Это требует адаптации методики интерпретации и системы оповещения.

Проанализирована методика адаптивного мониторинга, включающая:

- многоуровневую систему оповещения с порогами, настроенными под конкретные условия;

- многочастотный анализ данных для компенсации перерывов в мониторинге;

- регулярную верификацию радарных данных лазерным сканированием.

Построение 3D-модели поверхности скольжения и прогноз развала объемом 1,3 млн м³ позволили обосновать управленческие решения и обеспечить безопасное ведение горных работ.

Критерий обратной скорости показал ограниченную применимость для прогноза времени обрушения в условиях сложной, многостадийной деформации.

Полученный практический опыт и выводы могут быть использованы при проектировании систем мониторинга и разработке мероприятий по обеспечению безопасности на других горнодобывающих предприятиях со сложными геомеханическими условиями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bellet P., Noon D., Leva D., Rivolta C. 3D and 2D radars for open-pit slope monitoring. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Slope Stability. 2015. P. 1–14.
2. Cabrejo A., Bellett P., Stickley G., Silva R., Gunaris Y., Pérez J. Risk management and alarming based on a new atmospheric correction algorithm for ground-based radars. PM Dight (ed.), Slope Stability 2020: Proceedings of the 2020 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, Australian Centre for Geomechanics, Perth. 2020. P. 319–338. DOI 10.36487/ACG_repo/2025_17.

3. Caduff R., Schlunegger F., Kos F., Wiesmann A. A review of terrestrial radar interferometry for measuring surface change in the geosciences. *Earth surface processes and landforms*. 2014. P. 208–228. DOI 10.1002/esp.3656.
4. Dick G. J. Development of an early warning time-of-failure analysis methodology for open pit mine slopes utilizing the spatial distribution of ground-based radar monitoring data. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of applied science. The University of British Columbia (Vancouver). 2013. 436 p. DOI 10.1139/cgi-2014-0028.
5. Farina P., Leoni L., Babboni F., Coppi F., Mayer L., Ricci P. Real-time slope monitoring with ground-based SAR: analysis of the accuracy and reliability of the deformation measurements. *International Journal of Geophysics*. 2011. Vol. 2011. Article ID 808369. DOI 10.1155/2011/808369.
6. Intrieri E., Raspini F., Fumagalli A., Lu P., Del Conte S., Farina P., Casagli N. The Maoxian landslide as seen from space: detecting precursors of failure with Sentinel-1 data. *Landslides*. 2018. Vol. 15. P. 123–133. DOI 10.1007/s10346-017-0915-7.
7. Luzi G., Monserrat O., Crosetto M., Copons R., Altimir J. The Use of Ground-Based Radar for Landslide Monitoring and Early Warning: The Tosa d'Alp Case Study (Pyrenees, Spain). *Geosciences*. 2019. Vol. 9(7). P. 303. DOI 10.3390/geosciences9070303.
8. Macqueen G. K., Salas E. L., Hutchison B. J. Application of radar monitoring at Savage River Mine, Tasmania. *Slope Stability*. 2013. P. 1011–1020. DOI 10.36487/ACG_rep/1308_70_Macqueen.
9. Niekrasz J., Banda S., Rinne M. Review of radar system performance and estimation of slope deformation threshold values for the Levcaniemi open pit. School of Engineering. Master's thesis. 2018. P. 90.
10. Powell CL., Brockhurst N. Case study: rockfall assessment and mitigation at the Newmont Boddington Gold mine. *SSIM 2022. Australian Centre for Geomechanics Perth*. P. 475–484. DOI 10.36487/ACG_repo/2135_30.
11. Shellam R., Coggan J. Analysis of velocity and acceleration trends using slope stability radar to identify failure signatures to better inform deformation trigger action response plans. *Slope Stability 2020. Australian Centre for Geomechanics Perth 2020*. P. 227–240. DOI 10.36487/ACG_repo/2025_10.
12. Бурцев С. В., Рыбак Л. В. Радиолокационные системы контроля устойчивости бортов на разрезе «Черниговец». *Известия ТулГУ. Науки о земле*. 2018. Вып. 1. С. 203–209. EDN YTFXBX.
13. Исмагилов Р. И., Захаров А. Г., Бадтиев Б. П., Сенин Н. В., Павлович А. А., Свириденко А. С. Использование (опыт тестирования) георадара на участке строительства кругонаклонного конвейерного комплекса на южном карьере Михайловского ГОКа им. А. В. Варичева. *Горная промышленность*. 2020. № 3. С. 84–90. DOI 10.30686/1609-9192-2020-3-84-90. EDN GDBNKL.
14. Канаев Э. Д., Брагин А. А. Результаты натурных испытаний геотехнического радара в условиях Сибири. *Глобус. Геология и бизнес [Электронный ресурс]*. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnika/oborudovanie/rezultaty-naturnyh-ispytaniy-geotekhnicheskogo-radara-v-usloviyah-sibiri-23015/>.
15. Розанов И. Ю., Ковалев Д. А. Результаты анализа данных радарной системы мониторинга устойчивости борта карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК». *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 12-1. С. 122–133. DOI 10.25018/0236_1493_2022_121_0_122. EDN JRSFEN.
16. Шаворин В. А., Горилько А. С. Исследование точности систем измерения сдвигов бортов на примере 3D радара Groundprobe SSR-XT. *Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Национальная науч. конф. с междунар. участием «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».* Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 1. С. 144–151. DOI 10.33764/2618-981X-2020-1-1-144-151. EDN EBKNAJ.

REFERENCES

1. Bellet P., Noon D., Leva D., Rivolta C. (2015). 3D and 2D radars for open-pit slope monitoring // *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Slope Stability* [Yuzhno-Afrikanskiy institut gornogo dela i metallurgii. Ustoychivost' otkosov]. P. 1–14.
2. Cabrejo A., Bellett P., Stickley G., Silva R., Gunaris Y., Pérez J. (2020). Risk management and alarming based on a new atmospheric correction algorithm for ground-based radars // *PM Dight (ed.), Slope Stability 2020: Proceedings of the 2020 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, Australian Centre for Geomechanics, Perth* [Trudy 2020 Mezhdunarodnogo simpoziuma po ustoychivosti otkosov na otkrytykh gornykh rabotakh i v grazhdanskom stroitel'stve, Avstraliyskiy tsentr geomekhaniki, Perth]. P. 319–338. DOI 10.36487/ACG_repo/2025_17.
3. Caduff R., Schlunegger F., Kos F., Wiesmann A. (2014). A review of terrestrial radar interferometry for measuring surface change in the geosciences. *Earth surface processes and landforms* [Protsessy poverkhnosti i landshafty Zemli]. P. 208–228. DOI 10.1002/esp.3656.
4. Dick G. J. (2013). Development of an early warning time-of-failure analysis methodology for open pit mine slopes utilizing the spatial distribution of ground-based radar monitoring data. *A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of applied science. The University of British Columbia (Vancouver)* [Dissertatsiya na soiskaniye stepeni magistra prikladnykh nauk. Universitet Britanskoy Kolumbii (Vankuver)]. 436 p. DOI 10.1139/cgi-2014-0028.
5. Farina P., Leoni L., Babboni F., Coppi F., Mayer L., Ricci P. (2011). Real-time slope monitoring with ground-based SAR: analysis of the accuracy and reliability of the deformation measurements. *International Journal of Geophysics* [Mezhdunarodnyy zhurnal geofiziki]. Vol. 2011. Article ID 808369. DOI 10.1155/2011/808369.
6. Intrieri E., Raspini F., Fumagalli A., Lu P., Del Conte S., Farina P., Casagli N. (2018). The Maoxian landslide as seen from space: detecting precursors of failure with Sentinel-1 data. *Landslides* [Opolzni]. Vol. 15. P. 123–133. DOI 10.1007/s10346-017-0915-7.
7. Luzi G., Monserrat O., Crosetto M., Copons R., Altimir J. (2019). The Use of Ground-Based Radar for Landslide Monitoring and Early Warning: The Tosa d'Alp Case Study (Pyrenees, Spain). *Geosciences* [Nauki o Zemle]. Vol. 9(7). P. 303. DOI 10.3390/geosciences9070303.
8. Macqueen G. K., Salas E. L., Hutchison B. J. (2013). Application of radar monitoring at Savage River Mine, Tasmania. *Slope Stability* [Ustoychivost' otkosov]. P. 1011–1020. DOI 10.36487/ACG_rep/1308_70_Macqueen.
9. Niekrasz J., Banda S., Rinne M. (2018). Review of radar system performance and estimation of slope deformation threshold values for the Levcaniemi open pit. School of Engineering. *Master's thesis* [Magisterskaya dissertatsiya]. P. 90.
10. Powell C. L., Brockhurst N. (2022). Case study: rockfall assessment and mitigation at the Newmont Boddington Gold mine. *SSIM 2022. Australian Centre for Geomechanics Perth* [Avstraliyskiy tsentr geomekhaniki – Perth]. P. 475–484. DOI 10.36487/ACG_repo/2135_30.
11. Shellam R., Coggan J. (2020). Analysis of velocity and acceleration trends using slope stability radar to identify failure signatures to better inform deformation trigger action response plans. *Slope Stability 2020. Australian Centre for Geomechanics – Perth* [Avstraliyskiy tsentr geomekhaniki – Perth]. P. 227–240. DOI 10.36487/ACG_repo/2025_10.
12. Burtsev S. V., Rybak L. V. (2018). Radar systems for slope stability control at the "Chernigovets" open-pit mine. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle* [Bulletin of Tula State University. Earth Sciences]. Vol. 1. P. 203–209. EDN YTFXBX [in Russian].
13. Ismagilov R. I., Zakharov A. G., Badtiev B. P., Senin N. V., Pavlovich A. A., Sviridenko A. S. (2020). Use (testing experience) of ground-penetrating radar at the construction site of the circumferential inclined conveyor complex at the southern quarry of the Mikhailovsky GOK named after A.V. Varichev. *Gornaya Promyshlennost'* [Mining Industry]. No. 3. P. 84–90. DOI 10.30686/1609-9192-2020-3-84-90. EDN GDBNKL [in Russian].

14. Kanaev E. D., Bragin A. A. Results of field tests of a geotechnical radar in Siberian conditions. *Elektronnyi zhurnal «Globus. Geologiya i biznes»* [Electronic Journal "Globus. Geology and Business"]. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnika/oborudovanie/rezultaty-naturnyh-ispytaniy-geotekhnicheskogo-radara-v-usloviyah-sibiri-23015/> [in Russian].

15. Rozanov I. Yu., Kovalev D. A. (2022). Results of analysis of radar monitoring system data for the slope stability of the "Zhelezny" quarry of JSC "Kovdorsky GOK" *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Gorny Informatsionno-Analitichesky Bulletin]. No. 12-1. P. 122–133. DOI 10.25018/0236_1493_2022_121_0_122 EDN JRSFEN [in Russian].

16. Shavorin V. A., Gorilko A. S. (2020). Study of the accuracy of slope displacement measurement systems using the example of the Groundprobe SSR-XT 3D radar. *Interexpo GEO-Sibir'. XVI Mezhdunar. nauch. kongr., 18 June – 8 July 2020, Novosibirsk : sb. materialov v 8 t. T. 1 : Natsional'naya nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem «Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheideriya»* [Interexpo GEO-Siberia. XVI International Scientific Congress, 18 June – 8 July 2020, Novosibirsk: Collection of Materials in 8 Volumes. Vol. 1: National Scientific Conference with International Participation "Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying"]. – Novosibirsk : SGUGiT, No. 1. P. 144–151. DOI 10.33764/2618-981X-2020-1-1-144-151. – EDN EBKNAJ [in Russian].

Об авторах

Иван Тимофеевич Андреев – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Authors details

Ivan T. Andreev – PhD Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Получено / Received 05.11.2025

Поступила после рецензирования / Revised 14.01.2026

Принята к публикации / Accepted 27.02.2026

Научно-исследовательская статья/Applied research article

УДК 528.375

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-18-26>

Оценка разностей физических высот, получаемых методом хронометрического нивелирования, с высотами в нормальной системе

Е. Г. Гиенко^{1✉}, И. Г. Ганагина¹, О. А. Опритова¹

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

e-mail: elenagienko@yandex.ru

Аннотация. В статье выполнена оценка разностей физических высот точек, отнесенных к разным системам. Система физических высот (нормальных, ортометрических, динамических) в хронометрическом нивелировании определяется выбором некоторого значения силы тяжести в формуле перехода от разности гравитационных потенциалов к разностям высот. В опубликованных экспериментах по хронометрическому нивелированию получались динамические высоты, отнесенные к среднему значению силы тяжести в определяемых точках, в то время как в России принята система нормальных высот. Показано, что во всхолмленной и горной местности на территории размером 1° по широте расхождения между нормальными и динамическими высотами могут достигать 10 см. Составлена картосхема разностей нормальных и ортометрических высот на территории России, отображающая участки, где этими разностями можно пренебречь при имеющейся точности измерений. Продemonстрировано, что для 86 % территории разность ортометрических и нормальных высот не превышает 5 см, что объясняется преимущественно равнинным характером рельефа России. В результате оценки точности имеющиеся ошибки аномалии высоты и модели рельефа практически не оказывают влияния на оценку разности ортометрических и нормальных высот.

Ключевые слова: нормальные высоты, ортометрические и динамические высоты, Международная система отсчета высот, релятивистская геодезия, гравитационный потенциал, цифровая модель рельефа, модели гравитационного поля Земли

Для цитирования:

Гиенко Е. Г., Ганагина И. Г., Опритова О. А. Оценка разностей физических высот, получаемых методом хронометрического нивелирования, с высотами в нормальной системе. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 18–26. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-18-26>

Comparison of physical heights from chronometric leveling with orthometric heights

E. G. Gienko^{1✉}, I. G. Ganagina¹, O. A. Opritova¹

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

e-mail: elenagienko@yandex.ru

Abstract. The article compares physical heights referenced to different vertical systems. In chronometric leveling, the choice of physical-height system (normal, orthometric, dynamic) depends on the gravity value used to convert gravitational and potential differences into height differences. Published chronometric leveling experiments yielded dynamic heights tied to the mean gravity at the measured

points, whereas the Russian national system employs normal heights. It is shown that in hilly and mountainous terrain over areas measuring 1 degree in latitude discrepancies between normal and dynamic heights may reach 10 cm. A map of differences between normal and orthometric heights across the territory of Russia is produced, identifying regions where those differences are negligible given current measurement accuracy. For 86% of the country the orthometric and normal height difference does not exceed 5 cm, which is largely attributable to Russia's predominantly flat relief. Accuracy assessment indicates that present errors in the height anomaly and in the terrain model have a negligible effect on estimates of orthometric and normal height differences.

Keywords: normal heights, orthometric and dynamic heights, International Height Reference System, relativistic geodesy, gravitational potential, digital relief model, models of the Earth's gravitational field

For citation:

Gienko E. G., Ganagina I. G., Opritova O. A. (2026). Comparison of physical heights from chronometric leveling with orthometric heights. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 18–26. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-31-3-18-26>

Введение

В системах физических высот в гравитационном поле Земли вертикальные координаты точек на поверхности Земли задаются расстояниями между некоторой опорной и текущей уровенными поверхностями поля силы тяжести. Разность высот точек в физическом смысле определяется через разность потенциалов силы тяжести, или работу, которую совершает сила тяжести при перемещении из одной точки в другую.

В терминах потенциальных параметров определяется современная Международная система отсчета высот (International Height Reference System, IHRs) [1], где вертикальные координаты точки A , находящейся на поверхности с гравитационным потенциалом W_A , представляют собой геопотенциальные числа C_A

$$\Delta W_A = C_A = W_0 - W_A, \quad (1)$$

относящиеся к эквипотенциальной поверхности гравитационного поля Земли, реализуемой стандартным значением $W_0 = 62\,636\,853,4 \text{ м}^2\text{с}^{-2} \pm 0,02 \text{ м}^2\text{с}^{-2}$ [2].

В релятивистской геодезии разность гравитационных потенциалов определяется по релятивистскому смещению частоты атомного стандарта, что соответствует концепции IHRs определения высот через геопотенциальные числа [3–6]. Однако для практических приложений необходим переход от геопотенциаль-

ных чисел к метрическим высотам. Высота точки A над принятой уровенной поверхностью с потенциалом W_0 определяется по формуле [7]

$$H_A = \frac{W_0 - W_A}{g}, \quad (2)$$

где $W_0 - W_A$ – разность гравитационных потенциалов между нулевой уровенной поверхностью и уровенной поверхностью в точке A , g – сила тяжести в точке A .

Знаменатель в формуле (2) можно рассматривать как коэффициент для перехода от размерности гравитационного потенциала ($\text{м}^2/\text{с}^2$) к линейной метрической размерности (метрам). В зависимости от выбора знаменателя различают несколько физических систем высот: ортометрические, нормальные и динамические [7].

Поскольку в хронометрическом нивелировании измеряется разность гравитационных потенциалов между стационарным и мобильным стандартами частоты, то выбор знаменателя при переходе к метрическим высотам будет определять систему высот [8]. Так как в России принята система нормальных высот, то окончательные результаты хронометрического нивелирования следует представлять именно в этой системе. Для обоснования рекомендаций по переходу от результатов хронометрических измерений к нормальным высотам необходима количественная оценка разностей нормальных высот с

физическими высотами, получаемыми хронометрическим нивелированием.

Методы и материалы

Отношение высот одной и той же точки в двух разных системах, по определению и формуле (2), есть

$$H^{(1)} - H^{(2)} = H^{(2)} \left[\frac{g^{(2)}}{g^{(1)}} - 1 \right] = H^{(2)} \frac{\Delta g}{g^{(1)}}, \quad (4)$$

где $\Delta g = g^{(2)} - g^{(1)}$.

Оценка разностей динамических и нормальных высот. В экспериментах по реализации метода хронометрического нивелирования [9–13] при вычислении разностей высот использовалось некоторое среднее ускорение силы тяжести $g_{\text{ср}}$, измеренное на поверхности Земли в точках расположения стандартов частоты. При таком подходе, по определению, вычисляются динамические высоты H^d на локальной территории, охватываемой измеряемыми точками.

По классическому определению динамической высоты [7] знаменатель в формуле (2) при переходе от геопотенциальных чисел к высотам есть среднее значение нормальной силы тяжести на заданной территории $\gamma_{\text{ср}}$. Для вычисления же нормальных высот используется значение нормальной силы тяжести γ_A , зависящее от географической широты и высоты точки над эллипсоидом. Нормальное значение силы тяжести на эллипсоиде ($H = 0$) в точке с широтой ϕ вычисляется по формуле Сомильяна – Пицетти [14]

$$\gamma_A^0 = \frac{\gamma_e \cdot a \cdot \cos^2(\phi) + \gamma_p \cdot b \cdot \sin^2(\phi)}{\sqrt{a^2 \cdot \cos^2(\phi) + b^2 \cdot \sin^2(\phi)}}, \quad (5)$$

и, на высоте H_A , с учетом вертикального градиента

$$\gamma_A = \gamma_A^0 + \frac{\partial \gamma}{\partial h} \cdot \frac{H_A}{2}, \quad (6)$$

где γ_e, γ_p – нормальное значение силы тяжести на экваторе и на полюсе соответственно;

$$H^{(1)} / H^{(2)} = g^{(2)} / g^{(1)}, \quad (3)$$

где верхние индексы обозначают соответствующую систему высот.

Отсюда разность высот одной и той же точки в двух системах, в зависимости от выбора знаменателя, будет равна

a, b – большая и малая полуоси эллипсоида;

$\frac{\partial \gamma}{\partial h}$ – вертикальный градиент нормального поля силы тяжести;

H_A – геодезическая высота точки A .

Согласно формуле (4), разность нормальной H_A^γ и динамической высоты H_A^d определяется соотношением

$$H_A^d - H_A^\gamma = \frac{\gamma_A - \gamma_{\text{ср}}}{\gamma_{\text{ср}}} \cdot H_A^\gamma. \quad (7)$$

Оценка разностей нормальных и ортометрических высот на территории Российской Федерации. Разность между ортометрической H^g и нормальной H^γ высотами точки оценивалась по формуле [15]

$$H^g - H^\gamma = \frac{\Delta g_B}{\gamma_\phi} H^\gamma, \quad (8)$$

где γ_ϕ – значение нормальной силы тяжести на общеземном эллипсоиде на широте точки наблюдения ϕ , вычисленное по формуле Сомильяна – Пицетти (5); Δg_B – аномалия Буге.

Разности ортометрических и нормальных высот на территории Российской Федерации вычислены в 3 231 точке, расположенных в узлах регулярной сетки $1^\circ \times 1^\circ$. Аномалии силы тяжести в редукции Буге получены по данным ультравысокостепенной глобальной модели XGM2019_2159 [16] с помощью онлайн-калькулятора ICGEM [17]. Здесь аномалия силы тяжести Буге рассчитывается с помощью сферического приближения классиче-

ской гравитационной аномалии за вычетом $2\pi G\rho H$ [18]. Высоты H над уровнем моря рассчитаны на основе сферической гармонической модели рельефа (ЕТОРО1), используемой в той же максимальной степени, что и модель гравитационного поля. Для $H \geq 0$ (скала) плотность принимается за $\rho = 2\,670\text{ кг/м}^3$, а для $H < 0$ (вода, океан) $\rho = 1\,025\text{ кг/м}^3$.

На большей части сухопутной территории России аномалии Буге принимают значения от -80 до $+80$ мГал, 13 % территории с аномалией Буге от -90 до -290 мГал, 86 % территории имеют отрицательные значения аномалии Буге, максимальное значение $+172$ мГал, а для наивысшей точки России (гора Эльбрус) аномалия Буге $-353,6$ мГал.

Для расчета разностей нормальных и ортометрических высот по формуле (8) нормальные высоты на территорию Российской Федерации определялись по цифровой модели рельефа (ЦМР), созданной в виде матрицы высот с размером ячейки 100 м , с использованием данных цифровых топографических карт (ЦТК) масштаба $1 : 100\,000$ и общедоступных данных ЦМР ALOS (AW3D30) [19].

Минимальное значение нормальной высоты составляет $-27,2\text{ м}$ (Прикаспийская низменность), максимальное значение высоты для Российской Федерации $-5\,642\text{ м}$ (гора Эльбрус).

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка разностей нормальных и динамических высот выполнена на ограниченной территории (разность широт 2° , разность геодезических высот от 0 до 500 м), где $\gamma_{\text{ср}}$ вычислено по формулам (5) и (6) для средней широты 45° и высоты над эллипсоидом $H_{\text{ср}}$. В табл. 1 приведена оценка разностей динамических и нормальных высот со средним вертикальным градиентом, равным $3,0877\text{E-}06\text{ 1/с}^2$. Здесь же указаны диапазоны расхождений вычислений, обусловленные отличием измеренного вертикального градиента от его нормального значения (около 700 Э , $7 \cdot 10^{-7}\text{ 1/с}^2$, [20]).

Таблица 1. Разность динамических и нормальных высот на территории, ограниченной по размерам и высоте

Ши- рота, °	Разность геодезических высот ($H - H_{\text{ср}}$), м				
	0	100	200	300	500
	$H_A^d - H_A^y$, мм				
44,0	9 ± 1	22 ± 2	37 ± 2	56 ± 5	103 ± 10
44,5	5 ± 1	12 ± 2	23 ± 2	37 ± 5	75 ± 10
45,0	0	3 ± 2	9 ± 2	19 ± 5	47 ± 10
45,5	-5 ± 1	-6 ± 2	-4 ± 2	$0,4 \pm 5$	20 ± 10
46,0	-9 ± 1	-15 ± 2	-18 ± 2	-18 ± 5	-8 ± 10

Как видно из табл. 1, задание в знаменателе некоторого среднего для выбранной территории значения нормальной силы тяжести на поверхности земли (или на средней высоте региона) приводит к разностям с нормальными высотами до 10 см на территории шириной 1° по широте при разности высот 500 м (во всхолмленной и горной местности). Таким образом, применение динамических высот (или задание некоторого среднего значения силы тяжести в формуле (2) в хронометрическом нивелировании) ограничено как по площади охватываемой территории, так и по характеру рельефа.

Результаты вычисления разностей ортометрических и нормальных высот на территории Российской Федерации приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты вычисления разностей ортометрических и нормальных высот точек на территории Российской Федерации

Диапазон разностей высот, см	Количество точек, шт	Количество точек, %
0–0,5	1 760	54,49
0,5–1	296	9,16
1–2,5	445	13,78
2,5–5	290	8,98
5–10	236	7,31
10–20	142	4,40
20–30	35	1,08
30–40	17	0,53
40–50	5	0,15
>50	5	0,12
	3 231	100

Максимальная разница между нормальными и ортометрическими высотами составила $-2,035$ м (гора Эльбрус).

Анализ таблицы разностей ортометрических и нормальных высот на территории Российской Федерации позволяет сделать следующие выводы:

- на значительной части территории (86 %) расхождения между ортометрическими и нормальными высотами не превышают 5 см;
- расхождения в 10–20 см наблюдаются всего в 5 % случаев;
- всего в 5 точках в узлах регулярной сетки наблюдается расхождение более 50 см.

Визуализация полученных результатов приведена на рис. 1. Максимальные значения разностей ортометрической и нормальных высот приходится на горные районы и участки со значительными значениями АСТ в редукции Буге.

Распределение разностей высот на территории Северного Кавказа и Алтае-Саянской горной страны показано на рис. 2.

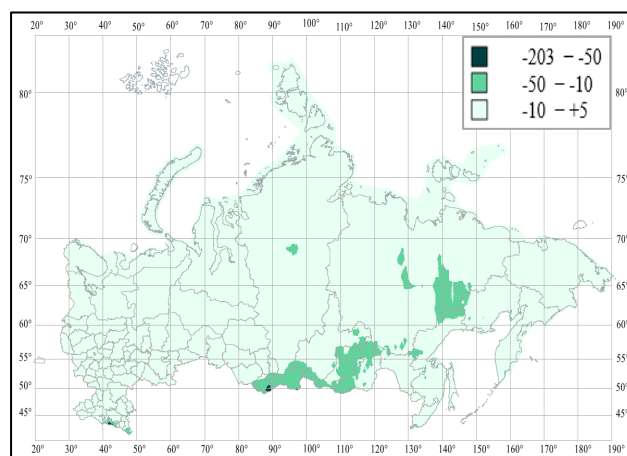


Рис. 1. Разности ортометрических и нормальных высот на территории Российской Федерации, см

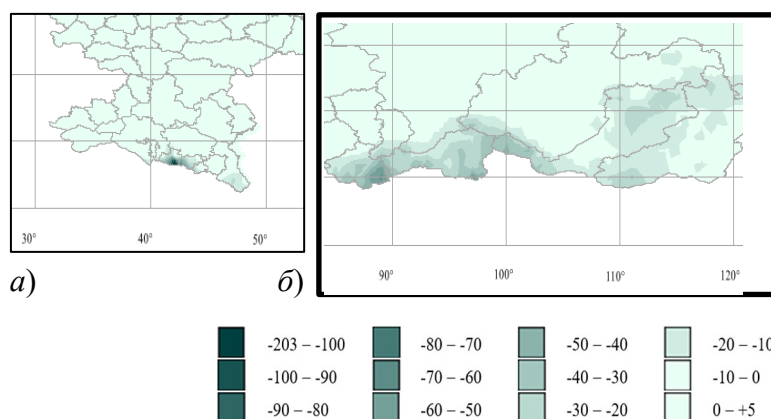


Рис. 2. Разности ортометрических и нормальных высот (см) в горных районах:
а) Северный Кавказ; б) Алтае-Саянская горная страна

Оценка точности вычисления разностей ортометрических и нормальных высот. Согласно формуле (8), ошибка разности ортометрических и нормальных высот $m_{\Delta H}$ будет зависеть от ошибки аномалии Буге $m_{\Delta g}$ (вычисляемой по глобальной модели геоида) и от ошибки высоты m_H (определяемой по модели рельефа):

$$m_{\Delta H} = \frac{1}{\gamma_\phi} \sqrt{(m_{\Delta g} \cdot H^\gamma)^2 + (m_H \cdot \Delta g_B)^2}. \quad (9)$$

Оценки точности непосредственно аномалий Буге, вычисляемых с помощью калькулятора ICGEM по глобальной модели геопотенциала XGM2019e_2159, в источниках не было найдено.

В статье [21] на основании данных наземных геодезических и гравиметрических измерений показано, что средняя квадратическая погрешность смешанных аномалий силы тяжести, получаемых по данным комбинированной

модели геопотенциала XGM2019e_2159, составила 3,45 мГал, а средняя квадратическая погрешность чистых аномалий силы тяжести – 3,44 мГал.

Для предварительной оценки точности разности ортометрических и нормальных высот возьмем ошибку аномалии Буге $m_{\Delta g}$, равную 3,5 мГал. Ошибка цифровых моделей рельефа m_H , по данным [22], в лучшем случае составляет величину 1 м, а по оценкам, приведенным в [23], средняя квадратическая ошибка построения матриц высот с размерами ячейки 100 м относительно объектов карты масштаба 1 : 100 000 для горных районов составляет величину около 10 м, для равнинных районов – до 1,6 м.

В табл. 3 приведены результаты предварительной оценки точности вычисления разностей ортометрических и нормальных высот на территории Российской Федерации, $m_{\Delta H}$. Для расчетов взято среднее значение аномалии Буге, вычисленное по всем точкам; ошибка аномалии Буге – 3,5 мГал; ошибка цифровой модели рельефа для равнинных территорий 1,6 м, для горных районов 10 м. В последней строке табл. 3 приведены средние разности ортометрических и нормальных высот, вычисленные для разных диапазонов высот H . Здесь же приведены результаты оценки для точки с высотой 3 018 м (единственный узел регулярной сетки, где высота около 3 000 м) и для горы Эльбрус.

Таблица 3. Оценка точности вычисления разности ортометрических и нормальных высот

H , м	50	100	300	500	1 000	2 000	2 500	3 018	5 642 (Эльбрус)
m_H , м	1,6	1,6	1,6	1,6	10	10	10	10	10
$m_{\Delta g}$, мГал	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
$m_{\Delta H}$, мм	0,2	0,4	1,1	1,8	3,6	7,1	8,9	10,7	20,2
$H^g - H^y$, мм	–0,8	–3,5	–10,0	–15,5	–18,6	–319,7	–542,2	–238,6	–2 035,0

Как видно из таблицы, средние квадратические ошибки вычисления разностей ортометрических и нормальных высот не превышают сами значения $(H^g - H^y)$. Таким образом, имеющиеся ошибки аномалии высоты и модели рельефа практически не оказывают влияние на оценку разности ортометрических и нормальных высот.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Метод хронометрического нивелирования, обеспечивающий измерение разности гравитационных потенциалов по релятивистскому смещению частоты, соответствует концепции Мировой системы высот ITRS. Однако при переходе от разности гравитационных потенциалов к метрическим высотам возникает неопределенность системы физических высот. В экспериментах по хронометрическому нивелированию вычислялись высоты, отнесенные к динамической системе для локальной

территории проводимого эксперимента. В результате выполненной оценки разности динамических и нормальных высот продемонстрировано, что задание в знаменателе некоторого среднего для выбранной территории значения нормальной силы тяжести на поверхности земли (или на средней высоте региона) приводит к разностям до 10 см на территории шириной 2° по широте с перепадом высот 500 м, что на уровне погрешностей современных хронометрических измерений, и превышает погрешности спутникового нивелирования. Таким образом, применение динамических высот в экспериментах по хронометрическому нивелированию ограничено как по площади охватываемой территории, так и по разности высот определяемых точек. На равнинной территории, ограниченной 0,5° по широте, при выполнении хронометрического нивелирования разностью динамических и нормальных высот можно пренебречь (при сантиметровой точности нивелирования).

По результатам оценки разностей нормальных и ортометрических высот на терри-

тории Российской Федерации показано, что на значительной части территории России (86 %) разности между ортометрическими и нормальными высотами не превышают 5 см. Полученные разности можно использовать при интерпретации результатов хронометрического нивелирования. По картосхемам можно

определять территории, на которых разностями ортометрических и нормальных высот можно пренебречь при имеющейся точности измерений.

Исследование выполнено в рамках выполнения работ по СЧ НИР «ГЕОТЕХ_КВАНТ-4».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. IAG Resolutions Adopted by the IAG Council at the XXVIth IUGG General Assembly, Prague, Czech Republic, June 22 – July 2, 2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://office.iag-aig.org/doc/5d7b8fd9d31dc.pdf>.
2. Sánchez L., Cunderlík R. et al. (2016). A conventional value for the geoid reference potential W0. *J Geod* (2016) 90:815–835. DOI 10.1007/s00190-016-0913-x.
3. Müller J., Dirkx D., Kopeikin S.M., et al. (2017). *High Performance Clocks and Gravity Field Determination. Space Science Reviews*, Topical Collection, 2017. Vol. 214, No. 1, Article 5. DOI 10.1007/s11214-017-0431-z.
4. Kopeikin S.M., Yu I., Vlasov I. & Han W.-B. (2018) *Normal gravity field in relativistic geodesy. Phys. Rev. D* 97, id: 045020. DOI 10.1103/PhysRevD.97.045020.
5. Wu H., Müller J., Lämmerzahl C. Clock networks for height system unification: a simulation study, *Geophysical Journal International*, Volume 216, Issue 3, March 2019, Pages 1594–1607, <https://doi.org/10.1093/gji/ggy508>.
6. Wu H., Müller J. Towards an International Height Reference Frame Using Clock Networks (2020) International Association of Geodesy Symposia, https://doi.org/10.1007/1345_2020_97.
7. Еремеев В. Ф., Юркина М. И. Теория высот в гравитационном поле Земли. Труды ЦНИИГАиК. 1972. Вып. 191. 144 с.
8. Гиенко Е. Г., Ганагина И. Г. К вопросу определения системы высот, реализуемой методом хронометрического нивелирования. Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 5. С. 13–22. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-13-22.
9. Канушин В. Ф., Карпик А. П. и др. Определение разности потенциалов силы тяжести и высот в геодезии посредством гравиметрических и спутниковых измерений. Вестник СГУГиТ. 2015. Вып. 3 (31). С. 53–69.
10. Kopeikin S. M., Kanushin V. F., Karpik A. P., Tolstikov A. S., Gienko E. G., Goldobin D. N., Kosarev N. S., Ganagina I. G., Mazurova E. M., Karaush A. A., Hanikova E. A. Chronometric levelling in Siberia. *Gravitation and Cosmology*, 22, 234 (2016). DOI 10.1134/S0202289316030099.
11. Фатеев В. Ф., Смирнов Ф. Р., Карауш А. А. Эксперимент по повышению точности квантового нивелира на основе водородных квантовых часов с использованием фазовых измерений ГЛОНАСС/GPS. Журнал технической физики. 2023. Т. 93, вып. 8. С. 1181–1187. DOI 10.21883/JTF.2023.08.55981.32-23.
12. Фатеев В. Ф., Рыбаков Е. А. Экспериментальная проверка квантового нивелира на мобильных квантовых часах. Доклады Академии наук. Физика, технические науки. 2021. Т. 1(496). С. 21–44. DOI 10.31857/S2686740020060097.
13. Алексейцев С. А., Гусар Д. Ф., Рачков В. Д., Толстиков А. С., Шмидт Л. В. Оценивание гравитационных изменений частоты в задачах хронометрического нивелирования на основе применения спутниковых навигационных технологий. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 2 : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». Новосибирск : СГУГиТ, 2022. С. 107–112. DOI 10.33764/2618-981X-2022-8-2-107-112.
14. Торге В. Гравиметрия : пер. с англ. М. : Мир, 1999. 429 с.
15. Пеллинен Л. П. Высшая геодезия (Теоретическая геодезия). М. : Недра, 1978 264 с.
16. Zingerle P., Pail R., Gruber T., Oikonomidou X. The combined global gravity field model XGM2019e. *Journal of Geodesy* (2020) 94:66, <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01398-0>.

17. Calculation of Gravity Field Functionals on Ellipsoidal Grids [Электронный ресурс]. URL: <https://icgem.gfz-potsdam.de/calcgird/> (дата обращения: 15.09.2025).
18. Barthelmes F. Definition of Functionals of the Geopotential and Their Calculation from Spherical Harmonic Models. Theory and formulas used by the calculation service of the International Centre for Global Earth Models (ICGEM), <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/> Scientific Technical Report STR09/02 Revised Edition, January 2013. <https://icgem.gfz-potsdam.de/docs/str-0902-revised.pdf>.
19. ALOS Global Digital Surface Model «ALOS World 3D - 30m (AW3D30)» [Электронный ресурс]. URL: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm (дата обращения: 15.09.2025).
20. Канушин В. Ф., Ганагина И. Г., Голдобин Д. Н. Определение вертикального градиента силы тяжести на территорию Западной Сибири. Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26, № 2. С. 101–107. DOI 10.33764/2687-041X-2021-2-101-107.
21. Ганагина И. Г., Канушин В. Ф., Голдобин Д. Н., Зверев И. В. Анализ данных чистых и смешанных аномалий силы тяжести, полученных по результатам работы космических гравиметрических миссий GRACE, GOCE. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, карто-графия, маркшейдерия». Новосибирск : СГУГиТ, 2022. С. 130–137. DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-130-137.
22. Гусев В. Л., Потапов С. Л., Синькова М. Г. Оценка точности цифровых моделей рельефа и цифровых моделей местности из открытых источников. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2022. Т. 66. № 1. С. 52–63. DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-1-52-63.
23. Карпик А. П., Ганагина И. Г., Опритова О. А. Оценка точности глобальных цифровых моделей рельефа на территорию Российской Федерации. Геодезия и картография. 2025. № 10. С. 2–11. DOI 10.22389/0016-7126-2025-1024-10-2-11.

REFERENCES

1. IAG Resolutions Adopted by the IAG Council at the XXVIth IUGG General Assembly (2015). Retrieved from <https://office.iag-aig.org/doc/5d7b8fd9d31dc.pdf>.
2. Sánchez, L., Cunderlik, R. et al. (2016). A conventional value for the geoid reference potential W0. *Journal of Geodesy*. 90:815–835 DOI 10.1007/s00190-016-0913-x.
3. Müller, J., Dirkx, D., Kopeikin, S.M., et al. (2017). *High Performance Clocks and Gravity Field Determination. Space Science Reviews, Topical Collection*. Vol. 214, No. 1, Art. 5, DOI 10.1007/s11214-017-0431-z.
4. Kopeikin, S.M., Yu, I., Vlasov, I., Han, W.-B. (2018). *Normal gravity field in relativistic geodesy. Phys. Rev. D* 97, id: 045020, DOI 10.1103/PhysRevD.97.045020.
5. Wu, H., Müller, J., Lämmerzahl, C. (2019). Clock networks for height system unification: a simulation study, *Geophysical Journal International*, Vol.216, I. 3, pp. 1594–1607, <https://doi.org/10.1093/gji/ggy508>.
6. Wu, H., Müller, J. Towards an International Height Reference Frame Using Clock Networks (2020). *International Association of Geodesy Symposia*, https://doi.org/10.1007/1345_2020_97.
7. Eremeev, V. F., & Yurkina, M. I. (1972). The theory of heights in the gravitational field of the Earth. *Trudy TsNIIGAiK [Proceedings of TsNIIGAiK]*, I.191, 144 p. [in Russian].
8. Gienko, E. G., Ganagina I. G. (2024) On the issue of determining the height system implemented by the chronometric leveling method. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. Vol. 29. N. 5. Pp. 13–22. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-13-22 [in Russian].
9. Kanushin, V. F., Karpik, A. P., & et al. (2015). The definition of gravity potential and heights differences in geodesy by gravimetric and satellite measurements. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, I. 3 (31), 53–69 [in Russian].
10. Kopeikin, S. M., & Kanushin, V. F., et al. (2016). Chronometric levelling in Siberia. *Gravitation and Cosmology*, 22, 234. DOI 10.1134/S0202289316030099.
11. Fateev, V. F., Smirnov, F. R. & Karaush, A. A. (2023). An experiment to improve the accuracy of a quantum level based on hydrogen quantum clocks using GLONASS/GPS phase measurements. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki [Journal of Technical Physics]* Vol. 93. I.8., 1181 – 1187., DOI 10.21883/JTF.2023.08.55981.32-23 [in Russian].

12. Fateev, V. F., Rybakov, E. A. (2021). Experimental verification of the quantum level on a mobile quantum clock. *Doklady Akademii nauk. Fizika, tekhnicheskie nauki* [Reports of the Academy of Sciences. Physics, technical sciences.] Vol.1 (496), 21–44., DOI 10.31857/S2686740020060097 [in Russian].
13. Alekseytsev, S. A., & et. al. (2022). The estimation of frequency shift when solving the problem of chronometric leveling by using satellite navigation technologies. *Interjekspo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia], Vol.2, 107–112. DOI 10.33764/2618-981X-2022-8-2-107-112 [in Russian].
14. Torge, W. (1999). *Gravimetriya* [Gravimetry] M: Mir, 429 p. [in Russian].
15. Pellinen, L.P. (1978). *Vysshaya geodeziya (Teoreticheskaya geodeziya)* [Higher Geodesy (Theoretical geodesy)] – M.: Nedra, 264 p. [in Russian].
16. Zingerle, P., Pail, R., Gruber, T., Oikonomidou, X. (2020). The combined global gravity field model XGM2019e. *Journal of Geodesy* 94:66 <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01398-0>.
17. Calculation of Gravity Field Functionals on Ellipsoidal Grids. Retrieved from: <https://icgem.gfz-potsdam.de/calcgird/>.
18. Barthelmes, F. (2013). Definition of Functionals of the Geopotential and Their Calculation from Spherical Harmonic Models. Theory and formulas used by the calculation service of the International Centre for Global Earth Models (ICGEM). *Scientific Technical Report STR09/02 Revised Edition*. Retrieved from <https://icgem.gfz-potsdam.de/docs/str-0902-revised.pdf>.
19. ALOS Global Digital Surface Model «ALOS World 3D - 30m (AW3D30)». Retrieved from https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm.
20. Kanushin, V. F., Ganagina, I. G., Goldobin, D. N. (2021). Determination of the vertical gradient of gravity on the territory of Western Siberia. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 1.2 (26), 101–107. DOI: 10.33764/2687-041X-2021-2-101-107 [in Russian].
21. Ganagina, I.G., Kanushin, V.F., Goldobin, D.N., Zverev I.V. (2022). Analysis of data on pure and mixed gravity anomalies obtained from the results of the space gravity missions GRACE, GOCE. *Interjekspo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia], Vol.1, 130 – 137. DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-130-137 [in Russian].
22. Gusev, V.L., Potapov, S.L., Sinkova, M.G. (2022). Open sources digital terrain model's and digital elevation model's accuracy estimation. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka*. [Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying], Moscow. Vol. 66 (1), pp. 52–63. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-1-52-63 [in Russian].
23. Karpik, A. P., Ganagina, I. G., Opritova, O. A. (2025). Assessing the accuracy of global digital elevation models for the territory of the Russian Federation. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and cartography], 86(10), pp. 2-11. DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1024-10-2-11 [in Russian].

Об авторах

Елена Геннадьевна Гиенко – кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии.

Ирина Геннадьевна Ганагина – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой космической и физической геодезии.

Ольга Анатольевна Опритова – кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии.

Author details

Elena G. Gienko – Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy.

Irina G. Ganagina – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Space and Physical Geodesy.

Olga A. Opritova – Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy.

Получено / Received 10.02.2026

Поступила после рецензирования / Revised 24.03.2026

Принята к публикации / Accepted 13.04.2026

Научно-исследовательская статья/Applied research article

УДК 528.531

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-27-36>

Исследование методик высокоточного определения постоянной поправки комплекта тахеометра

Г. А. Уставич¹, Д. А. Баранников¹, Н. М. Рябова¹, Р. Е. Калиакпаров¹✉

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

e-mail: kaliakparov1@vk.com

Аннотация. При выполнении высокоточных линейных измерений используются тахеометры или светодальномеры, в комплект которых входит отражатель со своим значением постоянной поправки. Однако в целом ряде случаев измерения расстояний производятся с использованием отражателей из комплекта других тахеометров. При этом значение постоянной поправки бывает неизвестным и в связи с этим приходится производить ее определение. Кроме того, при измерении высокоточными тахеометрами коротких (до 15–20 м) расстояний для целей монтажа технологического оборудования постоянная поправка отражателя должна быть известна со средней квадратической ошибкой (СКО) не более 0,10–0,20 мм. Другой поправкой при измерении расстояний является постоянная прибора. В сумме они дают поправку, которую называют постоянной поправкой комплекта тахеометра. Для повышения точности определения постоянной поправки комплекта тахеометра в статье рассматриваются схемы выполнения измерений. При их реализации используются короткие (до 20–25 м) расстояния, измеряемые высокоточным фазовым тахеометром методом прямых измерений. Измерения выполняются только в лабораторных условиях. При измерениях штативы с трегерами устанавливаются в створе измеряемых линий с ошибкой 2,0–3,0 мм. Целью выполненных исследований является подтверждение возможности точного определения постоянной поправки в лабораторных условиях путем измерения линейных отрезков высокоточным фазовым тахеометром. Величина этой постоянной поправки уточняется методом последовательных приближений, при котором после ее первого определения она снова вводится в тахеометр и снова измеряются расстояния. Таких приближений может быть два-три. Исследованиями установлено, что определение величины постоянной поправки высокоточного комплекта тахеометра в лабораторных условиях производится с СКО порядка 0,10–0,20 мм.

Ключевые слова: схемы поверки, высокоточное измерение расстояний, метод последовательных приближений, створ, центрирование эталонного тахеометра и отражателя, СКО измерений

Для цитирования:

Уставич Г. А., Баранников Д. А., Рябова Н. М., Калиакпаров Р. Е. Исследование методик высокоточного определения постоянной поправки комплекта тахеометра. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 27–36. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-27-36>

A comparative study of techniques for precise determination of total station kit constant correction

G. A. Ustavich¹, D. A. Barannikov¹, N. M. Ryabova¹, R. E. Kaliakparov¹✉

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

e-mail: kaliakparov1@vk.com

Abstract. High-precision linear measurements are commonly performed with total stations or electronic distance meters that use reflectors, each having an associated reflector constant correction. In practice, measurements are often made with reflectors originating from different instrument kits, so the reflector constant may be unknown and must be determined. When installing industrial equipment and measuring distances of up to 15–20 m with high-precision instruments, the reflector constant correction must be known with a root-mean-square error (RMSE) no greater than 0.10–0.20 mm. Both instrument constant correction and reflector constant correction comprise the total station kit constant correction. The study evaluates measurement configurations designed to improve the accuracy of determining the kit constant correction. Experiments were conducted in laboratory conditions using a high-precision phase total station and direct distance measurements over baselines of 20–25 m. Tripods with tribraches were aligned along measurement lines with a placement error of 2.0–3.0 mm. The total station kit constant correction was refined by successive approximation: after an initial estimate was entered into the total station, distances were remeasured, and the process repeated two to three times. Results demonstrate that, under controlled laboratory conditions, the kit constant correction of a high-precision total station can be determined with an RMSE of approximately 0.10–0.20 mm. The findings support the feasibility of achieving sub-millimeter accuracy for instrument calibration required in precision engineering and equipment installation.

Keywords: high-precision total station, verification method, distance, alignment, forced centering, standard deviation of measurements

For citation:

Ustavich G. A., Barannikov D. A., Ryabova N. M., Kaliakparov R. E. (2026). A comparative study of techniques for precise determination of total station kit constant correction. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 27–36. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-27-36>

Введение

Единство и точность линейных измерений при использовании тахеометров обеспечиваются посредством выполнения метрологических проверок, регламентированных действующими стандартами и методиками. Среди них можно отметить федеральный закон, государственные стандарты (Об обеспечении единства измерений : федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный; Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты : ГОСТ 8.129–99. – Москва : Стандартинформ, 2013. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294822/4294822137.pdf>. – Текст : электронный; Государственная система обеспечений единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 24 до 75 000 м : ГОСТ 8.503–84. – Москва : Издательство стандартов, 1984. – URL: <https://meganorm.ru/Data/295/29566.pdf>. – Текст : электрон-

ный) и методические указания института ЦНИИГАиК (МИ БГЕИ 40–03. Базисы эталонные. Методы поверки. Методика института. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293849/4293849400.htm>. – Текст : электронный; Применение светодальномера СП-2 (Топаз) для аттестации базисов. Методика института : МИ БГЕИ 30–94. – Москва : ЦНИИГАиК, 1995. – 8 с. – Текст : непосредственный; Светодальномеры. Методика и средства поверки: МИ БГЕИ 15-03. – Методика института. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849443.pdf>. – Текст : электронный; Локальные поверочные схемы для средств измерений топографо-геодезического и картографического назначения : РД 68-8.17–98. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200053492>. – Москва : ЦНИИГАиК, 1999. – Текст : электронный; Определение приборной поправки светодальномера способом «во всех комбинациях». – РТМ 68-8.21–94. – Москва : ЦНИИГАиК, 1994. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849489.htm>. – Текст : электронный).

В рамках поверки обязательным этапом является определение постоянной поправки Δ комплекта тахеометра, которая представляет собой сумму двух составляющих: поправки прибора (тахеометра) Δ_1 и Δ_2 отражателя [Светодалномеры. Методика и средства поверки: МИ БГЕИ 15–03. – Методика института. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849443.pdf>. – Текст : электронный]. Величина рассматриваемой поправки оказывает непосредственное влияние на точность измерений расстояний, что особенно важно при высоких требованиях к полученным результатам.

Как правило, на практике измерения тахеометром выполняются только в комплекте со своими стандартными отражателями, однако по разным причинам при выполнении измерений часто применяются отражатели других фирм или отражатели от комплекта другого тахеометра. При этом для каждого отражателя в паспорте указывается величина его постоянной поправки. Вместе с тем при выполнении измерений, особенно высокоточных, необходимо знать суммарную величину Δ этих поправок с более высокой точностью. В этом случае необходимым будет определение нового значения постоянной поправки Δ комплекта тахеометра.

Постоянная поправка комплекта тахеометра, как правило, определяется на эталонном линейном базисе способом «во всех комбинациях» [1–9, Определение приборной поправки светодалномера способом «во всех комбинациях». – РТМ 68-8.21–94. – М. : ЦНИИГАиК, 1994. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849489.htm>. – Текст : электронный]. Ранее также определение этой поправки производилось в лабораторных условиях с применением в качестве эталонного средства измерений компарированной стальной рулетки.

Недостатками определения поправки на эталонных базисах являются:

- определенные организационные трудности, связанные с выездом на этот базис для выполнения измерений;
- выполнение измерений при плохих внешних условиях, особенно при минусовых температурах;

– необходимость ввода поправок за метеосостояния, которые практически всегда в значительной степени являются приближенными из-за различных длин измеряемых линий.

Недостатком схемы поверки с использованием компарированной рулетки являлась сравнительно низкая точность ее определения, порядка 2,0–3,0 мм. Она применялась для светодалномеров технической точности и первых конструкций тахеометров.

Кроме того, линейные базисы на территории РФ в настоящее время находятся в крайне неудовлетворительном состоянии, и они практически перестали функционировать (за исключением эталонного базиса 1-го разряда ВНИИФТРИ), так как не производится их периодическая метрологическая аттестация. Также в настоящее время имеются несколько эталонных базисов только 3-го разряда, что не позволяет выполнять метрологическую поверку высокоточных тахеометров, в том числе определение постоянной поправки комплекта тахеометра. Необходимо отметить, что эталонный базис 3-го разряда имеет относительную точность измерения линейных отрезков не выше 1 : 400 000 (МИ БГЕИ 40–03. Базисы эталонные. Методы поверки. Методика института. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293849/4293849400.htm>. – Текст : электронный). В тоже время точность измерений высокоточными тахеометрами не меньше 1 : 600 000. Вместе с тем согласно требованиям метрологии эталонное средство, например, эталонный базис, должно быть точнее поверяемого (рабочего) средства измерений минимум в три раза. Кроме того, учитывая, что пункты эталонного базиса с течением времени изменяют свое положение, то перед началом поверки расстояние между двумя смежными пунктами необходимо периодически измерять высокоточными средствами, например, тахеометром или трекером [10–12].

В связи с этим в последнее время для проведения метрологической поверки тахеометров (определения относительной ошибки измерений) вместо эталонных стационарных базисов рекомендуется применять в качестве эталонных средств измерений высокоточные

фазовые светодальномеры (тахеометры), устанавливаемые на устойчивые, без люфтов в соединениях, штативы [13–19]. В редких случаях из-за сложности выполнения измерений используются также лазерные интерферометры.

С целью исключения недостатков в применении стационарных базисов и повышения точности измерений в данной статье рассматриваются схемы выполнения метрологической поверки. Их отличие от известных схем состоит в том, что с целью высокоточного определения постоянной поправки используется метод последовательных приближений, т. е. после первоначального определения этой поправки ее уточненная величина и она снова вводится в тахеометр, после чего определение производится еще раз или два. Таких приближений может быть два-три до момента учета ее величины с точностью до 0,10–0,20 мм.

При реализации этих схем измерения выполняются:

- в лабораторных условиях с применением устойчивых штативов, что исключает необходимость выезда на эталонный линейный базис;

- при одинаковых метеоусловиях, что исключает необходимость введения поправок в получаемые результаты измерений;

- с обеспечением устойчивости штативов путем их установки в углубления на шероховатом бетонном основании и подвешиванием к станковым винтам грузов ориентировочно весом 5–7 кг;

- при коротких (до 15,0–20,0 м) расстояниях, что обеспечивает высокую точность измерения линейных отрезков методом прямых измерений высокоточным фазовым тахеометром включая и поверяемым.

Применение предлагаемых схем позволит выполнить технические требования к точности определения постоянной поправки комплекта поверяемых тахеометров, особенно высокоточных (не хуже 0,20 мм), и будет полезно геодезическому производству.

Схемы выполнения поверки и результаты

Определение постоянной поправки комплекта поверяемого тахеометра с повышен-

ной точностью может быть реализовано с применением трех схем выполнения измерений [4, 9]:

- с установкой тахеометра в створе двух отражателей и с однократным определением величины поправки;

- установкой тахеометра в створе между двумя установками отражателя и с двукратным определением величины поправки;

- выполнением измерений с установкой отражателя в створе между двумя установками тахеометра.

Так как определение величины поправки производится при коротких расстояниях, то, с целью исключения ошибки за нестворность измеряемых линий, при выполнении измерений взаимная установка отражателей и тахеометра в створ должна производиться с отклонением не более 2,0–3,0 мм. Допустимую величину влияния нестворности на измеряемое расстояние можно вычислить по известной формуле

$$\Delta_s = \frac{h^2}{2S}, \quad (1)$$

где h – величина нестворности.

При $h = 3,0$ мм и $S = 20,0$ м будем иметь $\Delta_s = 0,002$ мм.

1. *Установка тахеометра в створе двух отражателей.* При реализации данной схемы в помещении на шероховатом бетонном полу в углублениях в точках A , B и C устанавливаются штативы (рисунок), которые не должны иметь люфтов во всех соединениях.

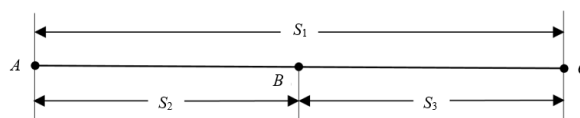


Схема измерений по определению величины постоянной поправки комплекта тахеометра

Выполнение измерений осуществляется в определенной последовательности. На бетонном основании в лабораторных условиях в точках B и C устанавливаются штативы с трегерами, а в точке A , расположенной

в створе точек B и C , устанавливается высокоточный тахеометр. Расстояние между точками (штативами) B и C устанавливается в пределах 7–10 м, а между A и B 4–5 м. Затем на штатив A устанавливается высокоточный тахеометр, а на штатив C по уровню устанавливается отражатель и производится серия из 30 измерений расстояния $AC = S_1$. Расстояния измеряются с точностью отсчитывания до 0,1 мм с последующим нахождением среднего значения.

Как известно, в этом случае измеренное расстояние AC будет равно и включать истинное значение поправки:

$$AC = S_1 = S'_1 + \Delta, \quad (2)$$

где $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$ – постоянная (суммарная) поправка комплекта тахеометра (тахеометра и отражателя);

$$AC - AB = (S'_1 + \Delta) - (S'_2 + \Delta) = S'_1 - S'_2 = BC_{\text{выч}} = S_3. \quad (3)$$

Таким образом, вычисленное расстояние $BC_{\text{выч}} = S_3$ не будет содержать в себе поправку Δ и его можно принять за теоретическое, т. е. $BC_{\text{выч}} = BC_{\text{теор}}$.

После этого тахеометр переставляется в трегер штатива B (или C) и расстояние BC уже измеряется такой же серией измерений. В этом случае измеренное расстояние $BC_{\text{изм}}$ будет содержать в себе измеренную величину S'_3 и суммарную поправку Δ комплекта тахеометра, т. е. $BC_{\text{изм}} = S'_3 + \Delta$.

Разность вычисленного по формуле (3) расстояния $BC_{\text{выч}}$ и измеренного $BC_{\text{изм}} = S'_3 + \Delta$ будет давать величину постоянной поправки, т. е.

$$BC_{\text{выч}} - BC_{\text{изм}} = BC_{\text{выч}} - (S'_3 + \Delta) = \Delta. \quad (4)$$

Величина СКО определения поправки Δ будет зависеть практически только от ошибок измерения расстояний, которая для высокоточного тахеометра в лабораторных условиях, например, Leica TM30, была уверенно определена с СКО 0,10–0,20 мм.

С целью подтверждения высокой точности определения поправки Δ с помощью

S'_1 – измеренное расстояние без учета поправки Δ .

Необходимо отметить, что измерение расстояния можно осуществлять и при произвольной поправке отражателя комплекта.

Затем отражатель устанавливается в трегер штатива B и аналогичная серия измерений расстояния $AB = S_2 = S'_2 + \Delta$ повторяется. Здесь S'_2 – также измеренное расстояние без учета поправки Δ .

После этого вычисляется величина расстояния $BC_{\text{выч}} = S_3$ как разность измеренных расстояний $S_1 - S_2$. Так как расстояния AB и AC измерялись при одном значении постоянной отражателя Δ_2 , то вычисленное расстояние $BC_{\text{выч}} = S_3$ будет свободно от этой величины, т. е. истинным его значением

данной схемы поверки были выполнены исследования в лабораторных условиях при температуре + 22 °С. СКО измерения расстояний, вычисленная по формуле Бесселя, оказалась равной 0,08–0,12 мм.

При выполнении измерения высокоточным тахеометром Leica TM30 были получены следующие результаты. Перед первым определением постоянной поправки (первое измерение расстояний) сначала было установлено произвольное значение поправки, равное $\Delta_1 = -34,4$ мм (индекс 1 и далее означают последовательность определения поправки), хотя в техническом паспорте была указана величина $\Delta_{\text{паспорт}} = -30,0$ мм. При этом значении поправки средняя величина вычисленного (теоретического) расстояния S_3 оказалась равной 7 м 639,94 мм, а измеренного расстояния $BC = S'_3 + \Delta$ равной 7 м 634, 28 мм.

Таким образом, разность вычисленного и измеренного расстояний ($BC_{\text{выч}} - BC_{\text{изм}}$) оказалась равной +5,66 мм. После внесения этой разности поправка оказалась равной

$$\Delta_2 = -34,40 \text{ мм} + 5,66 \text{ мм} = -28,74 \text{ мм} = -28,7 \text{ мм}.$$

С учетом данной поправки были выполнены повторные, контрольные, измерения

указанных расстояний и было получено значение поправки $\Delta_3 = -28,92 \text{ мм} = -28,9 \text{ мм}$.

Разность значений поправок оказалась равной $\delta_1 = -28,74 - (-28,92) = 0,18$ мм. Необходимо указать, что разность δ является остаточной, пока еще не исправленной, частью общей поправки Δ_3 .

И, наконец, после введения и этой остаточной части поправки было установлено окончательное ее значение $\Delta_4 = -28,8$ мм. Выполненные с этим значением поправки контрольные измерения показали, что остаточная величина δ_2 оказалась равной 0,06 мм и это практически равно точности отсчитывания.

Для повышения точности и надежности определения окончательного значения величины поправки Δ_4 измерения можно выполнить еще раз без изменения положения штативов с трегерами следующим образом. После введения полученной поправки Δ_4 измеряются уже расстояния AC и BC , а затем аналогичным образом вычисляется уже расстояние $AB_{\text{выч}} = (S'_1 + \Delta_4) - (S'_3 + \Delta_4)$.

Выполненные затем контрольные измерения по данной схеме позволили получить контрольную величину поправки, равную $\Delta_{\text{контр}} = -28,8$ мм, а остаточную ее величину $\delta_3 = -0,08$ мм, что подтвердило полученные ранее результаты.

Таким образом, с использованием данной методики можно дважды получить вычисленные (теоретические) величины расстояний $AB_{\text{выч}}$ и $BC_{\text{выч}}$.

Еще одним дополнительным контролем определения поправки Δ является непосредственное измерение расстояний AC , AB и BC после получения и введения окончательного значения поправки Δ_4 . Для этого поочередно указанной серией измерений со штатива A измеряются расстояния AB и AC . После этого тахеометр устанавливается в трегер штатива B и измеряется расстояние BC .

На основании контрольных измерений были получены следующие результаты: $AC = S_1 = 14$ м 248,3 мм, $AB = S_2 = 6$ м 608,2 мм и $BC = S_3 = 7$ м 639,9 мм. Остаточная разность $S_1 - (S_2 + S_3)$ оказалась равной $\delta = 0,20$ мм, что еще раз подтверждает правильность и надежность определения величины поправки Δ_4 .

Таким образом, разность указанной в техническом паспорте поправки $\Delta_{\text{пас}} = -30,0$ мм

и полученной из измерений $\Delta_{\text{пол}} = -28,8$ мм, равная 1,2 мм, является недопустимой при выполнении инженерно-геодезических измерений высокоточным тахеометром. Поэтому при выполнении высокоточных инженерно-геодезических измерений необходимо предварительно дополнительно тщательно выполнить определение величины поправки Δ в лабораторных условиях и при коротких расстояниях.

2. *Установка тахеометра в створе между двух отражателей.* Для реализации предлагаемой схемы измерений тахеометр устанавливается в трегер штатива B , а отражатель – в трегер штатива A (см. рисунок). При этом тахеометр также должен находиться в створе AC с ошибкой не более 2,0–3,0 мм. Величина нестворности тахеометра проверяется визированием его зрительной трубой сначала на отражатель A . Затем отражатель устанавливается в трегер штатива C , зрительная труба переворачивается через зенит и визируется на отражатель C . Если тахеометр не будет находиться в створе AC , то сетка нитей зрительной трубы будет смещена с центра призмы отражателя C . Устранение этой нестворности производится перемещением штатива B с тахеометром или, предварительно ослабив становой винт, только перемещением тахеометра по головке штатива. Величина смещения сетки нитей с центра призмы отражателя не должна быть больше 2,0–3,0 мм (оценивается визуально наблюдателем).

После этого производится измерение расстояния $AB = S_2 = S'_2 + \Delta$ и расстояния $BC = S_3 = S'_3 + \Delta$. Затем тахеометр устанавливается в трегер штатива A и измеряется расстояние $AC = S_1 = S'_1 + \Delta$.

Тогда будем иметь

$$AB + BC = (S'_2 + \Delta) + (S'_3 + \Delta) = (S'_1 + 2\Delta). \quad (5)$$

В сумме измеренных расстояний AB и BC будет двойная величина поправки Δ , т. е. 2Δ . Поэтому разность этой суммы с расстоянием $AC = S'_1 + \Delta$ дает величину поправки Δ

$$(S'_2 + S'_3 + 2\Delta) - (S'_1 + \Delta) = \Delta. \quad (6)$$

Контролем определения поправки Δ также является непосредственное измерение рас-

стояний AC , AB и BC после получения и введения окончательного значения поправки Δ .

Выполненное определение поправки Δ и последующие контрольные измерения расстояний после ее введения дали следующие результаты: $\Delta = -28,8$ мм, $AC = S_1 = 14$ м 436,5 мм, $AB = S_2 = 6$ м 748,4 мм и $BC = S_3 = 7$ м 688,0 мм. Остаточная разность $S_1 - (S_2 + S_3)$, равная $\delta = 0,10$ мм, также подтверждает правильность и надежность определения величины поправки Δ с применением данной схемы.

3. *Установка отражателя в створе между двумя установками тахеометра.* При реализации данной схемы в трегер штатива A устанавливается тахеометр, а в трегер штатива C – отражатель (см. рисунок). После этого измеряется расстояние AC , которое также будет равно $AC = S_1 = S'_1 + \Delta$.

Затем отражатель устанавливается в трегер штатива B таким образом, чтобы он находился в створе AC , и аналогичным образом измеряется расстояние AB , которое будет равно $AB = S_2 = S'_2 + \Delta$. После этого тахеометр переносится и устанавливается в трегер штатива C , а отражатель остается в трегере штатива B . Отражатель затем поворачивается на 180° и измеряется расстояние BC , которое будет равно $BC = S_3 = S'_3 + \Delta$.

Очевидно, что, как и в предыдущем случае, сумма расстояний $(S'_2 + \Delta) + (S'_3 + \Delta)$ дает двойную величину поправки Δ , т. е. 2Δ . Поэтому разность этой суммы с расстоянием $S'_1 + \Delta$ также дает величину поправки Δ .

После определения величины поправки Δ также производятся контрольные измерения с целью выявления остаточной величины δ с последующим ее учетом. Затем также непосредственно измеряются расстояния AC , AB и BC .

Выполненное определение величины поправки Δ и последующие контрольные измерения расстояний после ее введения дали следующие результаты: $\Delta = -28,8$ мм, $AC = S_1 = 14$ м 710,8 мм, $AB = S_2 = 6$ м 418,2 мм и $BC = S_3 = 8$ м 292,4 мм. Остаточная разность $S_1 - (S_2 + S_3)$, равная $\delta = 0,20$ мм, также подтверждает правильность и надежность определения величины поправки Δ с применением данной методики.

Важным достоинством рассматриваемых схем проверок является тот факт, что с их по-

мощью можно с повышенной точностью определять (или уточнить) величину поправки Δ для точных и технических тахеометров следующим образом. Для этого поверенным высокоточным тахеометром с использованием двух штативов измеряется расстояние AC (см. рисунок), которое будет приниматься как эталонное. Далее это расстояние измеряется комплектом точного или технического тахеометра с последующим нахождением (или уточнением) величины поправки Δ .

Так как СКО измерения точными и техническими тахеометрами даже коротких расстояний не превышает 1,0 мм, то после получения поправки высокоточным тахеометром она будет вводиться при измерениях также с точностью до 1,0 мм.

Заключение

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- результаты исследований по определению постоянной поправки Δ в лабораторных условиях подтвердили возможность выполнения ее без использования полевого эталонного линейного базиса;
- измерение коротких (в нашем случае до 15,0–20,0 м) расстояний в лабораторных условиях высокоточными тахеометрами со СКО порядка 0,10–0,20 мм позволяет обеспечить с применением рассматриваемых схем определение постоянной поправки Δ методом последовательных приближений также с СКО не хуже 0,20 мм;
- так как точность установления величины поправки Δ не будет превышать 0,10–0,20 мм, это позволит выполнять высокоточные измерения коротких расстояний при монтаже технологического оборудования со СКО порядка 0,10–0,15 мм (при наличии вибрации в цеху от работающего оборудования СКО измерений может быть больше в 1,5–2,0 раза);
- отсутствие необходимости введения поправки за метеоусловия на коротких (до 15–20 м) расстояниях и выполнение измерений в одинаковых условиях позволяет получать реальные значения этих расстояний;
- на выполнение проверки бригадой из двух человек в лабораторных условиях требуется не более двух часов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бронштейн Г. С., Симонович В. Н. Выявление и учет постоянной ошибки светодальномера при измерении расстояний в комбинациях. Геодезия и картография. 1973. № 7. С. 17–25.
2. Ворошилов А. П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра. Геопрофи. 2005. № 4. С. 46–47.
3. Сучков И. О. Базис пространственный эталонный им. О. П. Сучкова. ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). Новосибирск : СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. С. 237–241.
4. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. К вопросу об определении постоянной поправки дальномера электронного тахеометра. Вестник СГУГиТ. 2015. Вып. 1(29). С. 54–61.
5. Середович В. А., Сучков О. П. Об опыте исследования способа измерения расстояний в комбинациях на эталонном базисе. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № S/4. С. 62–66.
6. Уставич Г. А. К вопросу создания эталонных базисов для аттестации спутниковой аппаратуры и светодальномеров. Геодезия и картография. 1999. № 9. С. 7–14.
7. Крылов В. Д., Спиридонов А. И. Роль компараторов и обеспечения единства измерений. Геодезия и картография. 2003. № 10. С. 46–50.
8. Генике А. А., Бланк А. М., Чудновский В. С. О мерах метрологического контроля спутниковых координатных определений. Геодезия и картография. 2002. № 12. С. 25–29.
9. Уставич Г. А. Геодезия. Учебник для вузов. Ч. 2. Новосибирск : Наука, 2012. 510 с.
10. Шоломицкий А. А., Косарев Н. С., Сердаков Л. Е., Лагутина Е. К., Сучков И. О. Исследование фазового светодальномера электронного тахеометра FOIF RTS 005A на базисе пространственном эталонном СГУГиТ. Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 1. С. 54–64.
11. Шоломицкий А. А., Косарев Н. С., Никонов А. В., Сердаков Л. Е., Соболева Е. Л. Исследование точности измерения длин лазерным дальнометром электронных тахеометров. Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 5. С. 59–68.
12. Косарев Н. С., Шоломицкий А. А., Ханзадян М. А., Сердаков Л. Е., Лагутина Е. К., Сучков И. О. Результаты сравнения длин линий на базисе пространственном эталонном СГУГиТ. Геодезия и картография. 2024. № 2. С. 12–20.
13. Кошелев А. В., Уставич Г. А., Кошелев В. А., Титов С. С., Скипа Ю. В., Дубинина А. А., Заржецкая Н. В. Об аттестации светодальномеров, электронных тахеометров и GPS-приемников на эталонных линейных базисах. Геодезия и картография. 2011. № 6. С. 18–21.
14. Середович В. А., Сучков И. О. Опыт измерения длины базиса инварными проволоками и электронным тахеометром. Геодезия и картография. 2010. № 1. С. 16.
15. Уставич Г. А., Косарев Н. С., Мезенцев И. А., Баранников Д. А., Бирюков Д. В. Совершенствование методики аттестации тахеометров и светодальномеров. Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26, № 4. С. 146–159.
16. Баранников Д. А. Разработка и совершенствование способов метрологической поверки светодальномеров и тахеометров : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Баранников Дмитрий Андреевич. Новосибирск, 2022. 156 с.
17. Уставич Г. А., Васютинский И. Ю., Баранников Д. А., Горилько А. С. Разработка стационарного лабораторного стенда для поверки тахеометров. Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 1. С. 45–53.
18. Уставич Г. А., Косарев Н. С., Баранников Д. А. [и др.] Совершенствование методики метрологической аттестации тахеометров и светодальномеров. Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26, № 4. С. 146–159.
19. Уставич Г. А., Васютинский И. Ю., Баранников Д. А. [и др.] Совершенствование методики поверки тахеометров методом сличения без компаратора. Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 2. С. 17–30. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-17-30.

REFERENCES

1. Bronshteyn, G. S., Simonovich, V. N. (1973). Identification and Accounting for the Constant Error of a Rangefinder in Measuring Distances in Combinations. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 7, pp. 17–25 [in Russian].
2. Voroshilov, A. P. (2005). Determination of the Constant Correction of the Rangefinder of an Electronic Total Station. *[Geoprofi] Geoprofi*. No. 4, Pp. 46–47 [in Russian].
3. Suchkov, I. O. (2009). Spatial Standard Basis named after O. P. Suchkov. GEO-Siberia-2009. V Int. Scientific Congress: Collection of Materials in 6 Volumes (Novosibirsk, April 20–24, 2009). Novosibirsk : SGGA, Vol. 1, part 1. Pp. 237–241 [in Russian].
4. Nikonov A. V., Chesheva I. N., Lifashina G. V. (2015). On the issue of determining the constant correction for the rangefinder of an electronic tacheometer. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1. 1(29). Pp. 54–61 [in Russian].
5. Seredovich V. A., Suchkov O. P. (2014). On the experience of studying the method of measuring distances in combinations on a standard basis. *Izv. Vuzov. Geodeziya i aerofotos"yemka. [News of Universities. Geodesy and Aerial Photography]*. No. S/4. Pp. 62–66 [in Russian].
6. Ustavich G. A. (1999). On the issue of creating standard bases for the certification of satellite equipment and light rangefinders. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 9. Pp. 7–14 [in Russian].
7. Krylov V. D., Spiridonov A. I. (2003). The Role of Comparators and Ensuring the Uniformity of Measurements *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 10. Pp. 46–50 [in Russian].
8. Genike A. A., Blank A. M., Chudnovsky V. S. (2002). On Metrological Control Measures for Satellite Coordinate Definitions. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 12. Pp. 25–29 [in Russian].
9. Ustavich G. A. (2012). *Geodesy. Textbook for Universities. Part 2*. Novosibirsk, Nauka, 510 p. [in Russian].
10. Sholomitsky A. A., Kosarev N. S., Serdakov L. E., Lagutina E. K., Suchkov I. O. (2024). Study of the phase rangefinder of the FOIF RTS 005A electronic total station on the spatial standard basis of SGUGiT. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 29(1). P. 54–64 [in Russian].
11. Sholomitsky A. A., Kosarev N. S., Nikonov A. V., Serdakov E. L., Soboleva E. L. (2024). Study of the accuracy of length measurement by a laser rangefinder of electronic total stations *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 29(5). P. 59–68 [in Russian].
12. Kosarev N. S., Sholomitsky A. A., Khanzadyan M. A., Serdakov L. E., Lagutina E. K., Suchkov I. O. (2024). Results of comparison of line lengths on the spatial standard basis of SGUGiT. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 2. Pp. 12–20 [in Russian].
13. Koshelev A. V., Ustavich G. A., Koshelev V. A., Titov S. S., Skipa Yu. V., Dubinina A. A., Zarzhetskaya N. V. (2011). On the Certification of Distance Measuring Instruments, Electronic Total Stations, and GPS Receivers on Standard Linear Baselines. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 6. Pp. 18–21 [in Russian].
14. Seredovich V. A., Suchkov I. O. (2010). Experience in Measuring the Length of a Baseline with Invar Wires and an Electronic Total Station. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 1. P. 16 [in Russian].
15. Ustavich G. A., Kosarev N. S., Mezentsev I. A., Barannikov D. A., Biryukov D. V. (2021). Improving the Certification Methodology for Total Stations and Range Finders *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 26, No. 4. Pp. 146–159 [in Russian].
16. Barannikov, D. A. (2022). Development and Improvement of Methods for Metrological Verification of Range Finders and Total Stations: Abstract of Cand. Sci. (Eng.) Dissertation. Novosibirsk, 156 p. [in Russian].
17. Ustavich G. A., Vasyutinsky I. Yu., Barannikov D. A., Gorilko A. S. (2024). Development of a Stationary Laboratory Rig for Verifying Total Stations. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 29, No. 1. Pp. 45–53 [in Russian].

18. Ustavich G. A., Kosarev N. S., Barannikov D. A. [et al.] (2021). Improving the methodology for metrological certification of tachymeters and light rangefinders. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 26, No. 4. Pp. 146–159 [in Russian].

19. Ustavich G. A., Vasyutinsky I. Yu., Barannikov D. A. [et al.] (2024). Improving the methodology for verifying tachymeters by comparison without a comparator. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 29, No. 2. Pp. 17–30. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-17-30 [in Russian].

Об авторах

Георгий Афанасьевич Уставич – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Дмитрий Андреевич Баранников – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Надежда Михайловна Рябова – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Рахат Ерланович Калиакпаров – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Author details

Georgiy A. Ustavich – D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mining Surveying.

Dmitriy A. Barannikov – Ph. D., Senior Lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mining Surveying.

Nadezhda M. Ryabova – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mining Surveying.

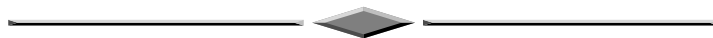
Rakhat E. Kaliakparov – Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mining Surveying.

Получено / Received 06.05.2025

Поступила после рецензирования / Revised 24.02.2026

Принята к публикации / Accepted 15.04.2026

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ



Научно-исследовательская статья/Applied research article

УДК 622.1:528.711.11.089.6:623.746-519

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-37-48>

Влияние ошибок параметров калибровки камеры на точность вычисления объемов горной массы при съемке, выполненной беспилотными авиационными системами

С. Г. Могильный¹, А. А. Шоломицкий^{2✉}, М. С. Тутанова³, Н. Н. Леонов⁴

¹Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Российская Федерация

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

³Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан

⁴ТОО «АзияГеоСтрой», г. Караганда, Республика Казахстан

e-mail: sholomitskij@mail.ru

Аннотация. Аэрофотосъемка с беспилотных авиационных систем широко используется в геодезии и маркшейдерии для съемок открытых горных разработок. Автоматическая обработка результатов аэрофотосъемки позволяет быстро получить цифровые модели поверхности карьеров для решения различных задач, в том числе определения объемов. В результате различных вариантов обработки аэрофотосъемки и расчета вынутой горной массы выявлено значительное расхождение объемов, полученных при обработке аэрофотосъемки с самокалибровкой и без самокалибровки съемочной камеры. Приведена методика определения средних квадратических ошибок координат каждой точки модели и выполнена оценка точности определения объемов в двух вариантах. В первом предполагалось, что подобные ошибки положения точек модели являются случайными независимыми величинами, и потому их влияние на точность вычисления объемов горной массы ничтожно мало. Во втором варианте расчета принята возможность наличия ошибок самокалибровки камеры, что привело к корреляции средних квадратических ошибок координат точек модели и иному результату расчетов. Этот вариант показал ошибку определения объемов около 0,4 %, что меньше установленных допусков. Для уменьшения влияния систематических ошибок результатов аэрофотосъемки рекомендуется использовать параметры калибровки съемочной камеры, которые получены из лабораторных исследований на калибровочных стендах.

Ключевые слова: беспилотная авиационная система, аэрофотосъемка, цифровой снимок, фототриангуляция, машинное зрение, точность, карьер, объем вынутой горной массы

Для цитирования:

Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Тутанова М. С., Леонов Н. Н. Влияние ошибок параметров калибровки камеры на точность вычисления объемов горной массы при съемке, выполненной беспилотными авиационными системами. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 37–48. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-37-48>

Impact of camera calibration parameter errors on the accuracy of rock mass volume estimation using unmanned aerial systems

S. G. Mogilny¹, A. A. Sholomitskii^{2✉}, M. S. Tutanova³, N. N. Leonov⁴

¹Donetsk National Technical University, Donetsk, Russian Federation

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

³Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Republic of Kazakhstan

⁴LLP «AsiaGeoStroy», Karaganda, Republic of Kazakhstan

e-mail: sholomitskij@mail.ru

Abstract. Aerial photography from unmanned aerial systems is widely used in geodesy and mining surveying for surveys of open-pit mines. Automatic processing of aerial imagery enables rapid generation of digital surface models of quarries for various tasks, including volume computation. Analysis of different processing approaches for aerial photography and calculation of excavated rock mass revealed significant discrepancies between volumes obtained with and without self-calibration of the imaging camera. A methodology for estimating the root-mean-square errors (RMSE) of coordinates of each point of the model is presented, and the accuracy of volume determination is evaluated in two scenarios. In the first scenario, the point position errors are assumed to be random and independent, implying that their influence on rock mass volume computation accuracy is negligible. In the second scenario, camera self-calibration errors are considered, which induces correlation among the RMSEs of the point coordinates and yields a different result. This scenario indicates a volume determination error of approximately 0.4%, which is within established tolerances. To reduce the influence of systematic errors in aerial photography results, it is recommended to use camera calibration parameters obtained from laboratory investigations on calibration rigs.

Keywords: unmanned aircraft system, aerial photography, digital image, phototriangulation, machine vision, accuracy, open-pit mine, volume of excavated rock mass

For citation:

Mogilny S. G., Sholomitskii A. A., Tutanova M. S., Leonov N. N. (2026). Impact of camera calibration parameter errors on the accuracy of rock mass volume estimation using unmanned aerial systems. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 37–48. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-37-48>

Введение

Беспилотные авиационные системы (БАС) широко применяются в геодезической [1–5] и маркшейдерской практике для решения различных задач [6–10]. Появление широкого спектра БАС, оснащенных бюджетными камерами с простой оптикой и небольшими матрицами, привели к изменению подхода к выполнению аэрофотосъемки и ее обработки. Аэрофотосъемка стала гораздо дешевле по сравнению с пилотируемой аэрофотосъемкой, а обработка значительно упростилась из-за применения автоматических методов обработки с использованием машинного зрения. Современные программы, например, Agisoft

MetaShape [11] и Pix4D [12], позволяют обрабатывать тысячи снимков в автоматическом режиме и получать приемлемые по точности результаты для многих прикладных задач.

Широкое использование аэрофотосъемки БАС привело к тому, что пользователи этих программ не являются специалистами в области фотограмметрии. Поэтому программы для автоматической обработки имеют довольно упрощенный интерфейс, рассчитанный на минимальное знание фотограмметрии [11, 12].

В общем случае качество съемки и ее обработки можно оценить только по остаточным отклонениям на опорных и контрольных точках, которые являются объективными по-

казателями точности сети, но количество их небольшое, и они расположены локально по полю съемки. Все остальное поле съемки не имеет надежных характеристик точности. Следует отметить, что опорные и контрольные точки опознаются опытным наблюдателем вручную, что значительно повышает точность их опознавания и измерения.

Очень часто для используемых на БАС бюджетных камер нет параметров лабораторной калибровки, и пользователи включают при обработке режим самокалибровки. Чаще всего, в том числе и в программах [11, 12], используют модель ошибок Брауна [13, 14], которая описывает ошибки объектива и сенсора камеры. Определить параметры калибровки можно в лабораторных условиях на специальных калибровочных стендах [15] или при уравнивании фототриангуляции. Этот метод называется самокалибровкой камеры [16–19].

Пользователи программ автоматической обработки аэросъемки почти всегда используют режим самокалибровки при обработке аэросъемки БАС, и объясняется это тем, что остаточные ошибки на опорных и контрольных точках уменьшаются в разы по сравнению с режимом без самокалибровки.

Некоторые авторы утверждают, что калибровку камеры можно выполнять по аэрофотосъемке специальных территорий с замаркированными опорными точками [18], координаты которых определены с высокой точностью геодезическими методами. Для эффективной самокалибровки по съемке реальных объектов должны соблюдаться определенные условия. Так, например, при съемке равнинной местности нельзя выполнить калибровку и определить все необходимые элементы модели ошибок камеры [15, 17, 19]. Есть исследования, которые показывают, что ошибочная (некорректно выполненная) самокалибровка может привести к систематическим ошибкам определения высот точек модели (Правила осуществления маркшейдерской деятельности : утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 мая 2023 г. № 186. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный), что в свою очередь приведет к ошибкам определения объема горной массы.

В геодезической и маркшейдерской практике одной из важнейших задач является учет объемов горных работ, поэтому важной и актуальной задачей является оценка влияния случайных и систематических ошибок аэрофотосъемки БАС на точность вычисления объемов.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования, на котором выполнялись эксперименты по аэросъемке БАС и подсчету объемов, был выбран небольшой угольный разрез (рис. 1) площадью около 70 га с числом снимков 1 075–1 270 снимков в съемках на разные даты. Перепад высот в пределах разреза не превышает 50 м, высота полета 120 м.

Съемка велась параллельными маршрутами, с продольным и поперечным перекрытием около 80 %. Положение центров фотографирования определялось по ГНСС-измерениям в режиме постобработки с точностью 15–20 мм.

Для исследований использовалась аэрофотосъемка карьера камерой FC6310 (8,80 мм). Сеть фототриангуляции имела 14 опорных планово-высотных пунктов. На рис. 1 показана поверхность разреза и горного отвода на 03.06.2023.

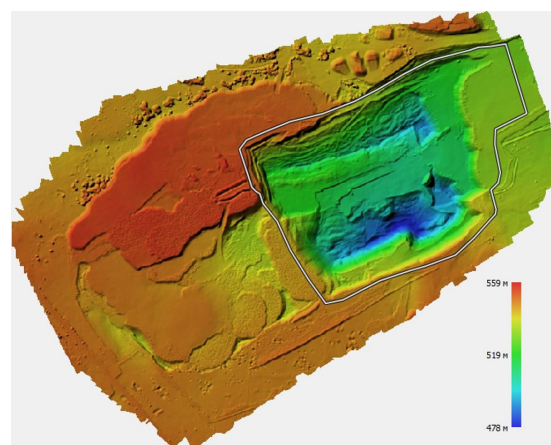


Рис. 1. Съемка на 03.06.2023

На рис. 1 белый контур показывает место, где производилась выемка, на остальной территории производилась насыпка вскрыши.

По съемкам 03.06.2023 и 28.07.2023 были подсчитаны объемы выемки и насыпи при об-

работке аэрофотосъемки без самокалибровки и остальных одинаковых параметрах обработки с самокалибровкой съемочной камеры при (таблица).

Расчет объемов между поверхностями (03.06–28.07.2023)

Вариант вычислений	Выемка, м ³	Насыпь, м ³	Разность, % м ³ (выемка)	Разность, % м ³ (насыпь)
Без самокалибровки	435 799	404 046	7,7 32 502	–5,1 –20 988
С самокалибровкой	403 297	425 034		

Как видно из таблицы, самокалибровка в значительной степени влияет на вычисленный объем горной массы, это влияние значительно превышает допуски (Правила осуществления маркшейдерской деятельности : утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 мая 2023 г. № 186. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный). При этом нельзя сказать, что вариант с самокалибровкой более точный. Так, в исследованиях и компьютерном моделировании авторов [20] показано, что при неправильном определении параметров калибровки камер могут проявляться систематические куполообразные искажения снимаемой поверхности с ошибкой до 0,2 м при высоте съемки 100 м. Дальнейшие исследования авторов посвящены оценке влияния случайных ошибок результатов аэрофотосъемки БАС на точность вычисления объемов.

Методика анализа данных аэрофотосъемки БАС

Материалы обработки данных аэрофотосъемки БАС в Agisoft MetaShape [11] не дают полной информации о точности координат пикетов из уравнивания сети фототриангуляции, поэтому авторы использовали программу уравнивания фототриангуляции BlockMSG, которую создал профессор С. Г. Могильный и которая имеет полный доступ к алгоритмам и параметрам уравнивания фототриангуляции.

Методика обработки и анализа данных аэрофотосъемки БАС включает следующие этапы:

– аэрофотоснимки и опорные данные загружаются в Agisoft MetaShape, в котором методами компьютерного зрения находятся идентичные точки на снимках и определяются их координаты в системе координат снимков;

– из Agisoft MetaShape экспортируются имена и координаты точек на снимках;

– математическая основа обоих комплексов одинакова, поэтому все дальнейшие вычисления выполнялись в BlockMSG.

В BlockMSG в протоколе вычислений содержатся средние квадратические величины случайных ошибок определения координат каждой точки фототриангуляции, которые будут использоваться в дальнейшем анализе.

Анализ влияния случайных ошибок координат точек объекта на точность вычисления объемов

Точность определения вынутых объемов горной массы в карьере зависит главным образом от точности определения координат пикетных точек на поверхности горных выработок и от метода вычисления объемов.

В популярных программных комплексах, например, Agisoft Metashape Professional, используется метод призм, который за счет густой сетки пикетов может обеспечить высокую точность аппроксимации поверхности тела выемки.

В научной литературе имеется достаточно исследований по оценке ошибок определения объемов горной массы в карьере. Исследования были актуальными, поскольку в нормативных документах (например, Правила осуществления маркшейдерской деятельности : утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 мая 2023 г. № 186. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный).

гическому, технологическому и атомному надзору от 19 мая 2023 г. № 186. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный), регламентирующих выполнение маркшейдерских работ, были установлены обязательные допуски ошибок определения объемов. Эта тема актуальна и теперь в связи с появлением новых технологий съемок [8, 10].

Высокая степень автоматизации обработки фотосъемки с БАС позволяет параллельно с построением плана горных работ в карьере выполнить оценку ожидаемых ошибок определения вынутых объемов.

В современных программах объем вычисляется методом призм, которые образуются между смежными пикетами на топографической поверхности уступов.

Форма оснований призм зависит от расположения пикетов. Координаты точек фототриангуляции являются первичной информацией, для которых можно получить статистические характеристики их средних квадратических ошибок, зависящие от случайных ошибок измерения фотоснимков. Геодезические координаты пикетов являются производной, т. е. вторичной информацией, но в ПО BlockMSG средние квадратические ошибки координат пикетов вычисляются и выводятся в документации вычислений.

Точки фототриангуляции расположены нерегулярно, поэтому для разбиения на призмы используется разбиение поверхности на треугольники методом триангуляции Делоне.

При использовании треугольников объемы смежных призм будут коррелированными, так как используются общие пикеты, что осложняет вычисление дисперсии суммы объемов призм.

При использовании полигонов Тиссена объем каждой призмы зависит только от ошибок координат одного пикета.

Пусть для некоторой призмы использованы координаты пикета I , которые отягощены вектором ошибок $\bar{\Delta}_i$ (рис. 2). На нем сплошными линиями показана триангуляционная поверхность, а штриховыми – границы полигонов. Поскольку полигоны имеют малые размеры из-за высокой плотности пикетов в фототриангуляции, можно принимать

поверхность в пределах полигона плоскостью.

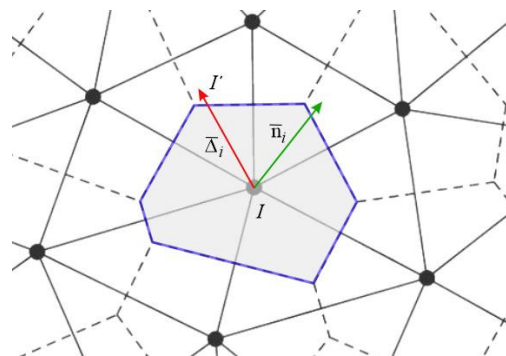


Рис. 2. Разбиение поверхности для вычисления объема горной массы в карьере

Тогда при вычислении объема призмы вместо координат точки I будут использованы координаты точки I' , что внесет в объем призмы ошибку δV , которая вычисляется по формуле

$$\delta V_i = S_i \cdot (\bar{n}_i \cdot \bar{\Delta}_i), \quad (1)$$

где S_i – площадь полигона; $\bar{n}_i$ – вектор нормали к поверхности полигона (см. рис. 2); $(\bar{n}_i \cdot \bar{\Delta}_i)$ – скалярное произведение векторов.

Ошибка ΔV общего объема по карьере получается суммированием

$$\Delta V = \sum_1^N S_i \cdot (\bar{n}_i \cdot \bar{\Delta}_i), \quad (2)$$

где N – общее число пикетов по карьере.

Если векторы выразить их проекциями на оси системы координат, то формула (2) примет вид

$$\Delta V = \sum_1^N S_i \cdot (n_{x_i} \delta_{x_i} + n_{y_i} \delta_{y_i} + n_{z_i} \delta_{z_i}) \quad (3)$$

или

$$\Delta V = \sum_1^N S_i \cdot \delta_{n_i}, \quad (4)$$

где $n_{x_i}, n_{y_i}, n_{z_i}$ – проекции единичного вектора нормали к полигону;

$\delta_{x_i}, \delta_{y_i}, \delta_{z_i}$ – случайные ошибки координат центра i -го полигона;

δ_{n_i} – случайная ошибка центра полигона по направлению нормали;

N – число полигонов.

Если предположить, что ошибки координат пикетов δ_{n_i} являются независимыми случайными величинами, то средняя квадратическая ошибка M_V определения объема по карьеру будет вычисляться по формуле

$$M_V = \sqrt{\sum_1^N S_i^2 \cdot \sigma_{n_i}^2}. \quad (5)$$

Дисперсия $\sigma_{\delta_{n_i}}^2$ случайной ошибки пикета δ_{n_i} в соответствии с формулой (3) определяется из выражения

$$\sigma_{\delta_{n_i}}^2 = n_{x_i}^2 \sigma_{x_i}^2 + n_{y_i}^2 \sigma_{y_i}^2 + n_{z_i}^2 \sigma_{z_i}^2.$$

Анализ показывает, что предположение о независимости ошибок δ_{n_i} приводит к парадоксу, так как из формулы (5) следует, что при увеличении плотности пикетов, когда

$$\lim_{N \rightarrow \infty} S_i = 0, \quad (6)$$

то и

$$\sigma_{\Delta V_g}^2 = (S_1 \cdot \sigma_{\delta_1} + S_2 \cdot \sigma_{\delta_2} + \dots + S_{N_g} \cdot \sigma_{\delta_{N_g}})^2, \quad (8)$$

где N_g – количество полигонов в окрестности Π_g .

Принимая, что ошибки координат пикетов разных окрестностей не коррелированы, получим M_V – случайную среднюю квадратическую ошибку определения объема по карьеру, по формуле:

$$M_V = \sqrt{\sum_{n=1}^{N_{\Pi}} \sigma_{\Delta V_n}^2}, \quad (9)$$

где N_{Π} – общее число построенных окрестностей.

Размер окрестности можно будет выбрать и обосновать при практических испытаниях и исследованиях на экспериментальных съемках карьеров.

Предлагаемый алгоритм оценки точности объемов позволяет оценивать по результатам уравнивания фототриангуляции с беспилотных авиационных систем качество залета и результатов обработки съемки для маркшейдерского обеспечения горных работ.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} M_V = 0. \quad (7)$$

Формула (7) не соответствует действительности, поскольку при ее выводе не учитывалась статистическая зависимость между ошибками координат при пространственной близости пикетов.

Мерой статистической зависимости служит $r(\rho_{j,k})$ – коэффициент корреляции между величинами ошибок координат δ_{n_j} и δ_{n_k} пикетов, между которыми расстояние $\rho_{j,k}$. Чем меньше $\rho_{j,k}$, тем ближе $r(\rho_{j,k})$ к единице.

Обозначим через ρ_0 наибольшее расстояние между пикетами, при котором $r(\rho_0)$ практически равно +1. Тогда для окрестности Π_g дисперсия $\sigma_{\Delta V_g}^2$ ошибки вычисления объемов призм, расположенных в этой окрестности, будет оцениваться формулой

В качестве окрестностей Π_g логично использовать области вокруг положения проекций центров фотоснимков на поверхности карьера, например, полигоны Тиссена. Ошибки объемов треугольных призм в пределах полигона Тиссена заведомо тесно коррелированы. Формула (8) соответствует предельному случаю коррелированности ошибок в окрестности Π_g .

Обобщим полученную формулу (8) на случай множества треугольных призм в пределах полигона Тиссена, в котором все ошибки центров треугольников тесно коррелированы.

Истинная ошибка ΔV_k объема треугольной призмы k определяется по формуле

$$\Delta V_k = S_k \delta_k, \quad (10)$$

а дисперсия – по формуле

$$\sigma_{V_k}^2 = S_k^2 \sigma_k^2, \quad (11)$$

где σ_k – СКО координат по нормали к плоскости треугольной грани.

Без учета корреляции, т. е. когда все $r_{ik} = 0$, дисперсия M_j^2 объемов всех треугольников в пределах полигона j будет равна

$$M_j^2 = \sum_1^{N_j} \sigma_{V_k}^2. \quad (12)$$

С учетом корреляции дисперсия объема полигона j должна вычисляться по формуле

$$K_j = \begin{vmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2r_{12} & \sigma_1\sigma_3r_{13} & \cdots & \sigma_1\sigma_{N_j}r_{1N_j} \\ \sigma_1\sigma_2r_{12} & \sigma_2^2 & & & \\ \sigma_1\sigma_3r_{13} & & \sigma_3^2 & & \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \sigma_1\sigma_{N_j}r_{1N_j} & & & \cdots & \sigma_{N_j}^2 \end{vmatrix}. \quad (14)$$

N_j – число треугольников в полигоне.

Формула (13) является достаточно строгой и обоснованной, но для ее применения необходимо знать значения коэффициентов корреляции r_{ik} в формуле (14); кроме того, при большом числе треугольников их нахождение трудно реализовать даже на современных ЭВМ.

Поэтому имеет смысл ее упростить, используя средние значения величин, используемых в ней параметров, а именно:

– вместо отдельных значений σ_k подставим в формулу (14) их среднее значение $\bar{\sigma}_j$ в полигоне

$$\bar{\sigma}_j = \frac{1}{N_j} \sum_1^{N_j} \sigma_k, \quad (15)$$

$$M_j^2 = \left| \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & \cdots & S_{N_j} \end{matrix} \right| \cdot K_j \cdot \left| \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \vdots \\ S_{N_j} \end{matrix} \right|, \quad (13)$$

где K_j – ковариационная матрица ошибок объемов треугольников, которая имеет следующий вид:

и матрица в формуле (14) примет вид

$$K_j = \bar{\sigma}_j^2 \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1N_j} \\ r_{12} & 1 & & & \\ r_{13} & & 1 & & \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ r_{1N_j} & & & \cdots & 1 \end{vmatrix}; \quad (16)$$

– вместо отдельных значений S_k в формуле (13) используем их среднее значение в полигоне

$$S_j = \frac{1}{N_j} \sum_1^{N_j} S_k. \quad (17)$$

Предлагаемые упрощения приводят формулу (13) к следующему виду:

$$M_j^2 = \bar{\sigma}_j^2 \cdot \bar{S}_j^2 \left| \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \end{matrix} \right| \cdot \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1N_j} \\ r_{12} & 1 & & & \\ r_{13} & & 1 & & \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ r_{1N_j} & & & \cdots & 1 \end{vmatrix} \left| \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{matrix} \right| \quad (18)$$

или

$$M_j^2 = \bar{\sigma}_j^2 \cdot \bar{S}_j^2 N_j \Psi(N_j, r_{12}, r_{13}, \dots, r_{N_j-1, N_j}), \quad (19)$$

где $\Psi(N_j, r_{12}, r_{13}, \dots, r_{N_j-1, N_j})$ – функция, учитывающая корреляцию ошибок объемов призм треугольников j -го полигона и устраняющая парадокс формулы (7).

Свойства функции Ψ

В соответствии с формулой (19) функция Ψ имеет вид

$$\Psi(N_j, r_{12}, r_{13}, \dots, r_{N_j-1, N_j}) = \frac{1}{\sqrt{N_j}} \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1N_j} \\ r_{12} & 1 & & & \\ r_{13} & & 1 & & \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ r_{1N_j} & & & \dots & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{vmatrix}. \quad (20)$$

Некоторые очевидные значения:

- а) $\Psi(N_j) = 1$ при $\forall r_{ik} = 0$;
- б) $\Psi(N_j) = \sqrt{N_j}$ при $\forall r_{ik} = 1$.

Если все r_{ik} равны константе $r \in (0, 1)$, то функция Ψ имеет вид

$$\Psi(t, r) = \sqrt{1 + r(t-1)}, \quad (21)$$

где t – число треугольников в полигоне.

Характер ее поведения показан на рис. 3.

Ошибка объемов по карьере выражается формулой

$$M_V = \sqrt{\sum_{j=1}^{N_{\text{сн}}} \sigma_j^2 \cdot S_j^2 N_j \cdot \Psi(N_j, r)}, \quad (22)$$

где $N_{\text{сн}}$ – число снимков; r – средний коэффициент корреляции объемов треугольных призм.

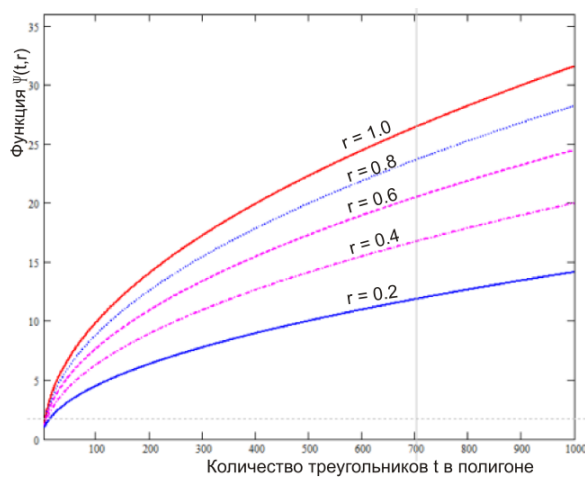


Рис. 3. Функция Ψ

Обсуждение

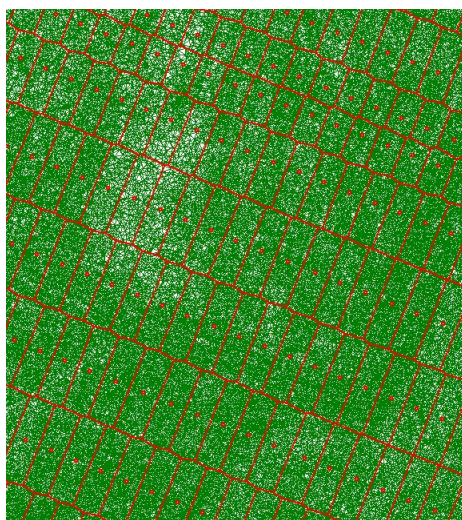
Для расчетов по приведенной теории была создана программа [21], которая позволяет построить триангуляцию Делоне и выполнить расчет ошибок определения объема при усло-

вии, что ошибки координат точек модели являются случайными независимыми величинами.

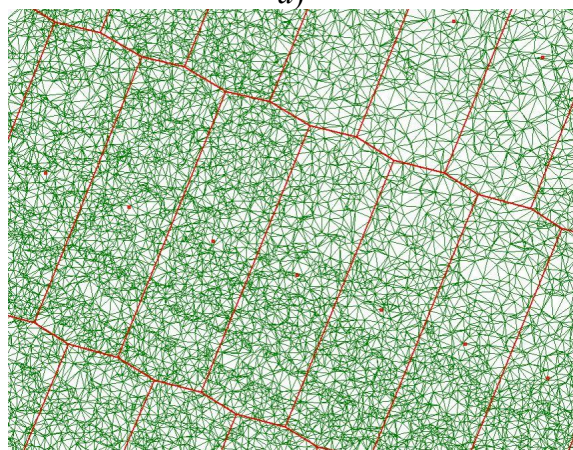
Если выполнить расчеты по формулам (1)–(9) для триангуляционной поверхности, получим для исследуемого объекта следующие данные: точек модели 1 126 632; тре-

угольников 2 252 974; общая площадь 1 317 928 м²; ошибка объема 313,8 м³. Ошибка определения объемов по двум поверхностям составит 449,7 м³ или относительно среднего объема выемки и насыпки (см. таблицу) 0,05 %.

Если калибровка камеры выполнена некорректно, то влияние ошибок калибровки камеры будет распространяться на некоторую область влияния этого снимка и тогда можно будет использовать формулу (22) для определения ошибки вычисления объема. Чтобы определить зону влияния снимка на точки поверхности, воспользуемся полигонами Тиссена, построенными по проекциям центров фотографирования (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Полигоны Тиссена по центрам фотографирования:

а) фрагмент карьера; б) в более крупном масштабе

На рис. 4 показана триангуляция Делоне (зеленым цветом) и полигоны Тиссена (красным цветом показаны границы и центр фотографирования), построенные по центрам фотографирования, которые оказывают влияние на определение координат точек модели.

По расчетам, которые учитывают корреляцию с коэффициентом $r = 0,6$, для треугольников, попавших в область влияния снимка, ошибка определения объема для поверхности составляет 2434,4 м³, а с учетом равноточных измерений точек обеих поверхностей подсчета объема вынудой горной массы ошибка определения объема между двумя поверхностями составит 3456 м³, или 0,41 % от общей горной массы выемки и насыпки (см. таблицу).

Следует иметь в виду, что предложенные формулы оценки ошибки объемов характеризуют влияние только случайных ошибок координат точек и не учитывают существенных систематических ошибок, на наличие которых указывают данные таблицы.

Заключение

На основании выполненного анализа можно утверждать следующее: ошибка определения объемов вынудой горной массы для угольного разреза в предположении, что ошибки координат являются независимыми величинами, ничтожно мала по сравнению с объемами (см. таблицу) и составляет 0,05 %. Если учитывать корреляцию смежных точек, ошибки калибровки камеры и ее влияние на снимки, то ошибка определения объема составит 0,41 %, что на порядок меньше, чем ошибки в таблице.

Некоторые исследователи полагают, что самокалибровку камер нельзя использовать при съемке равнинных объектов с незначительным перепадом высот относительно высоты фотографирования [15, 17, 19]: это может привести к ошибочному определению параметров калибровки. Другие полагают, что для надежного определения параметров самокалибровки необходимо делать маршруты с наклоном камеры [20], что имитирует конвергентную съемку плоского тестового полигона. Однако этот подход требует дополни-

тельных маршрутов и увеличивает время получения результата, что довольно критично в условиях горного производства. Авторы считают, что для выполнения аэросъемки БАС объектов необходимо использовать камеру с определенными в лабораторных условиях на специальных тестовых объектах параметрами калибровки. Такой подход обеспечивает надежное определение объемов с выполнением допусков (Правила осуществления маркшейдерской деятельности : утв. прика-

зом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 мая 2023 г. № 186. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный).

Следует отметить, что на практике самокалибровку камер зачастую используют для уменьшения остаточных отклонений на опорных точках таким образом, как бы повышая точность выполненной съемки. Этот вопрос требует дальнейших исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алимов В. А., Григорьев А. Н. Геодезические работы с применением беспилотных летательных аппаратов. М. : АСВ, 2021. 208 с.
2. Захаров А. И., Коптев Е. В. Беспилотные технологии в геодезии и картографии. СПб. : Политехника, 2020. 192 с.
3. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*. 2014. Т. 6, № 1. С. 1–15. DOI 10.1007/s12518-013-0120-x.
4. Тимофеев А. Н., Смирнов Л. Е. Оценка точности БПЛА-съемки с RTK для кадастровых работ. *Геодезия и картография*. 2022. № 5. С. 12–20.
5. Андреев А. В., Кузнецов П. С. Мониторинг оползневых склонов с использованием БПЛА и фотограмметрии. *Инженерная геодезия*. 2023. № 3. С. 45–53.
6. Куликов В. И., Галкин В. И. Маркшейдерско-геодезические работы с применением БПЛА. М. : Горная книга, 2022. 164 с.
7. Певзнер М. Е., Смирнов С. Г. Цифровые технологии в маркшейдерии. СПб. : Лань, 2021. 312 с.
8. Тимофеев А. Н. и др. Оценка точности БПЛА с RTK для мониторинга угольных разрезов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023. № 5. С. 45–53.
9. Virtanen J. P. и др. UAV Photogrammetry for Monitoring Mine Sites // *Remote Sensing*. 2020. Т. 12, № 17. 2696. DOI 10.3390/rs12172696.
10. Кузнецов П. С. Автоматизация подсчета объемов вскрыши с помощью Pix4D. *Маркшейдерский вестник*. 2022. № 4. С. 22–30.
11. Agisoft Metashape User Manual. Standard Edition. Version 1.8 [Электронный ресурс]. URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape_1_8_en.pdf (дата обращения: 11.08.2025).
12. Pix4D Documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/360023629191> (дата обращения: 11.08.2025).
13. Brown D. C. Decentering Distortion of Lenses. *Photogrammetric Engineering*. 1966. Т. 32, № 3. С. 444–462.
14. Luhmann T. и др. *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*. 3rd ed. Berlin: De Gruyter, 2014. 684 p.
15. Могильный С. Г., Лунев А. А., Шоломицкий А. А. Конструктивная калибровка цифровой камеры. *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2011. № 2. С. 62–66.
16. Faugeras O., Luong Q.-T., Maybank S. Camera self-calibration: Theory and experiments. *European Conference on Computer Vision ECCV'92*. LNCS 588. 1992. С. 321–334.
17. Mogilny S. G., Sholomitsky A. A., Martynov O. V. The effectiveness of self-calibration of non-metric digital camera that used on unmanned aerial vehicles. *SGEM2018 Conference Proceedings*. 29 June – 5 July 2018. Vol. 18, Issue 2.3. С. 199–209. DOI 10.5593/sgem2018/2.3/S10.026.

18. Кадничевский С. А., Курков М. В., Курков В. М., Чибуничев А. Г. Фотограмметрическая калибровка фотокамеры для аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна. *Геопрофи.* 2019. № 6. С. 35–40.
19. Chibunichev G., Kurkov V. M., Smirnov A. V., Govorov A. V., Mikhailin V. A. Investigation of phototriangulation accuracy with using of various techniques laboratory and field calibration. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* 2016. Vol. XLI-B1. XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.
20. James M. R., Robson S. Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks. *Earth Surface Processes and Landforms.* 2014. Vol. 39. P. 1413–1420. DOI 10.1002/esp.3609.
21. Шоломицкий А. А., Тутанова М. С. Measurement converter: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022668209 от 04.10.2022. Заявка № 2022667849 от 04.10.2022. Бюл. № 10 от 04.10.2022.

REFERENCES

1. Alimov, V. A., Grigoriev, A. N. (2021). *Geodezicheskiye raboty s primeneniym bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Geodetic works using unmanned aerial vehicles]*. Moscow: ASV Publishing, 208 p.
2. Zakharov, A. I., Koptev, E. V. (2020). *Bespilotnyye tekhnologii v geodezii i kar-tografii [Un-manned technologies in geodesy and cartography]*. Saint Petersburg: Polytechnic, 192 p.
3. Nex, F., Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. DOI 10.1007/s12518-013-0120-x.
4. Timofeev, A. N., Smirnov, L. E. (2022). Accuracy assessment of UAV surveying with RTK for cadastral works. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, No. 5, 12–20.
5. Andreev, A. V., Kuznetsov, P. S. (2023). Landslide monitoring using UAVs and photogram-metry. *Inzhenernaya geodeziya [Engineering Geodesy]*, No. 3, 45–53.
6. Kulikov, V. I., Galkin, V. I. (2022). *Marksheydersko-geodezicheskiye raboty s primeneniym BPLA. [Mine surveying and geodetic works using UAVs]*. Moscow: Mining Book, 164 p.
7. Pevzner, M. E., Smirnov, S. G. (2021). *Tsifrovyye tekhnologii v marksheyderii. [Digital tech-nologies in mine surveying]*. Saint Petersburg: Lan', 312 p.
8. Timofeev, A. N. et al. (2023). Accuracy assessment of RTK-equipped UAVs for monitoring coal mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' [Mining Information and Analytical Bulletin]*, No. 5, 45–53.
9. Virtanen, J. P. et al. (2020). UAV photogrammetry for monitoring mine sites. *Remote Sensing*, 12(17), 2696. DOI 10.3390/rs12172696.
10. Kuznetsov, P. S. (2022). Automation of overburden volume calculation using Pix4D. *Marksheyderskiy vestnik. [Mine Surveying Bulletin]*, No. 4, 22–30.
11. Agisoft Metashape User Manual. Standard Edition. Version 1.8 Retrieved from https://www.agisoft.com/pdf/metashape_1_8_en.pdf (accessed: 11.08.2025).
12. Pix4D Documentation Retrieved from [https://support.pix4d.com/hc/en-us/arti-cles/360023629191](https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/360023629191) (accessed: 11.08.2025).
13. Brown, D. C. (1966). Decentering distortion of lenses. *Photogrammetric Engineering*, 32(3), 444–462.
14. Luhmann, T. et al. (2014). Close-range photogrammetry and 3D imaging. *3rd ed. Berlin: De Gruyter*, 684 p.
15. Mogilny, S. G., Lunev, A. A., Sholomitsky, A. A. (2011). Structural calibration of a digital camera. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"yomka. [News of universities. Geodesy and Aerial Photography]*, No. 2, 62–66.
16. Faugeras, O., Luong, Q.-T., Maybank, S. (1992). Camera self-calibration: Theory and exper-iments. *European Conference on Computer Vision – ECCV'92, LNCS 588*, 321–334.

17. Mogilny, S. G., Sholomitsky, A. A., Martynov, O. V. (2018). The effectiveness of self-calibration of a non-metric digital camera used on UAVs. *SGEM2018 Conference Proceedings*, 18(2.3), 199–209. DOI 10.5593/sgem2018/2.3/S10.026.
18. Kadnichenko, S. A., Kurkov, M. V., Kurkov, V. M., Chibunichev, A. G. (2019). Photogrammetric calibration of a camera for UAV aerial surveying. *GeoProfi [GeoProfi]*, No. 6, 35–40.
19. Chibunichev, G., Kurkov, V. M., Smirnov, A. V., Govorov, A. V., Mikhlin, V. A. (2016). Investigation of phototriangulation accuracy using various laboratory and field calibration techniques. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLI-B1, XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic*.
20. James, M. R., Robson, S. (2014). Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 1413–1420. DOI 10.1002/esp.3609.
21. Sholomitsky, A. A., Tutanova, M. S. (2022). Measurement converter: State registration certificate for software No. 2022668209 dated 04.10.2022. Application No. 2022667849 of 04.10.2022. Bulletin No. 10, 04.10.2022.

Об авторах

Сергей Георгиевич Могильный – доктор технических наук, профессор кафедры геоинформатики, геодезии и землеустройства.

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

Мируэрт Серикпаевна Тутанова – старший преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии.

Никита Николаевич Леонов – инженер-геодезист.

Author details

Sergey G. Mogilny – D. Sc., Professor, Department of Geoinformatics, Geodesy and Land Management.

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

Miruert S. Tutanova – Senior Lecturer, Department of Surveying and Geodesy.

Nikita N. Leonov – Geodetic Engineer.

Получено / Received 14.08.2025

Поступила после рецензирования / Revised 23.04.2026

Принята к публикации / Accepted 06.05.2026

Обзорно-аналитическая статья/Review article

УДК 528.7(202) (203):656.615

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-49-61>

**Применение данных аэро- и космических съемок в задачах оптимизации
логистики морских контейнерных терминалов**

М. А. Сквazников^{1✉}, Д. Л. Колыгин¹

¹ Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: vka@mail.ru

Аннотация. Представлен аналитический обзор современных решений методологического и технологического характера по применению данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для мониторинга и оптимизации логистических процессов в морских контейнерных терминалах (МКТ). Проведен анализ зарубежных и отечественных публикаций за период 2010–2026 гг., выявлены основные научно-прикладные тренды: переход от визуального анализа к автоматизированному детектированию объектов на основе алгоритмов компьютерного зрения, интеграция спутниковых данных и данных с беспилотных воздушных судов (БВС) в единые геоинформационные системы, разработка цифровых двойников терминалов. На основе обзора сформулирована ключевая методологическая проблема – отсутствие систематизированных критериев и количественных моделей для обоснованного выбора типа носителя (спутник, самолет, БВС) и параметров съемки под конкретные технологические задачи управления МКТ. По результатам экспертного опроса разработана система показателей качества средств ДЗЗ и определены их весовые коэффициенты. Обоснована необходимость разработки математической модели, связывающей пространственно-временные характеристики потоков данных ДЗЗ с показателями эффективности терминала. Определены основные направления дальнейших исследований, включая создание методики трансформации данных съемки в операционные параметры логистических моделей.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, логистическая оптимизация, компьютерное зрение, БВС, цифровой двойник

Для цитирования:

Сквazников М. А., Колыгин Д. Л. Применение данных аэро- и космических съемок в задачах оптимизации логистики морских контейнерных терминалов. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 49–61. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-49-61>

**Leveraging airborne and spaceborne remote sensing data for optimization of
maritime container terminal logistics**

М. А. Skvaznikov^{1✉}, D. L. Kolygin¹

¹ Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russian Federation

e-mail: vka@mail.ru

Abstract. The article presents an analytical review of contemporary methodological and technological approaches to applying Earth remote sensing (RS) data for monitoring and optimizing logistics processes in maritime container terminals (MCTs). A systematic analysis of domestic and international literature published between 2010 and 2026 was conducted, identifying key scientific and applied trends: the transition from visual interpretation to automated object detection based on computer vision algorithms; the integration of satellite and unmanned aerial vehicle (UAV) data into unified geographic information systems; and the development of digital twins of terminals. Based on this review, a fundamental methodological gap is identified – the absence of systematic criteria and quantitative models to support the informed selection of sensor platforms (satellite, aircraft, or UAV) and acquisition parameters tailored to specific MCT operational management tasks. Results from an expert survey were used to develop a quality indicator system for RS data sources, including assigned weight coefficients. The study substantiates the need for a mathematical model that links the spatial and temporal characteristics of RS data flows with terminal performance metrics. Key directions for future research are defined, including the development of a methodology for transforming RS data into operational parameters for logistics models.

Keywords: aerospace imaging, Earth remote sensing, logistics optimization, analytical review, computer vision, satellite monitoring, UAS, digital twin

For citation:

Skvaznikov M. A., Kolygin D. L. (2026). Leveraging airborne and spaceborne remote sensing data for optimization of maritime container terminal logistics. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 49–61. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-49-61>

Введение

Аэро- и космические съемки позволяют автоматизировать контроль промышленных объектов, снижать риски и повышать эффективность управления производством [1, 2]. Данные дистанционного зондирования Земли используются в задачах контроля инфраструктуры и строительства, выявления разливов нефти и сброса сточных вод, обнаружения аварийных ситуаций и оценки последствий катастроф [3]. Отдельная группа задач связана с логистикой и управлением ресурсами промышленных предприятий [4, 5]. Аэрокосмический мониторинг применяется для оптимизации складских территорий и транспортных потоков [6].

Контейнерные перевозки играют важную роль в современной логистике и международной торговле [7, 8]. Унификация контейнеров позволяет оптимизировать погрузку, разгрузку и перевалку грузов, сокращая время и трудозатраты, упрощает логистику и совместимость между разными видами транспорта, обеспечивая интермодальность перевозок. Около 70 % (по стоимости) международных торговых грузов перевозится в контейнерах.

Морские контейнерные терминалы – ключевые узлы глобальной мировой торговли, обеспечивающие эффективную перевалку грузов между морским и наземным транспортом [9]. Крупнейшие терминалы (Шанхай, Сингапур, Роттердам) обрабатывают десятки миллионов TEU (20-футовых эквивалентов) в год.

Современные МКТ используют интеллектуальные системы управления для автоматизации процессов, минимизации ошибок и ускорения грузопотока [10, 11]. Контейнеры и транспортировочное оборудование оснащены разнообразными датчиками, а также элементами идентификации и учета.

Аэро- и космические съемки кардинально изменили управление МКТ, обеспечив масштабный мониторинг, точную аналитику и оперативное реагирование на нештатные ситуации. Вместе с тем научные исследования, связанные с логистикой МКТ, часто носят фрагментарный характер, фокусируясь либо на совершенствовании методов обработки изображений [12, 13], либо на описании частных случаев внедрения [14, 15]. Отсутствуют комплексные исследования, обосновывающие выбор средств аэрокосмического мониторинга на основе анализа характери-

стик данных ДЗЗ (пространственное, временное, спектральное разрешение) и решаемых задач оптимизации логистики МКТ. Особенно остро ощущается пробел в практических, количественно обоснованных рекомендациях по выбору типа носителя (спутник, пилотируемая авиация, БВС) и конфигурации съемки для таких задач, как оперативный подсчет контейнеров, мониторинг движения техники, оценка загруженности отдельных функциональных зон.

Целью данного аналитического обзора является систематизация современных научных подходов к использованию аэро- и космических съемок для мониторинга МКТ, выявление ключевых нерешенных проблем, заключающихся в отсутствии критериев для обоснованного выбора средств ДЗЗ в задачах управления МКТ.

Современное состояние применения данных ДЗЗ для мониторинга МКТ: результаты аналитического обзора

Отбор публикаций проводился за период 2010–2026 гг. в международных и отечественных базах данных (Scopus, Web of Science, РИНЦ, Google Scholar) по ключевым словам: «морской терминал дистанционное зондирование», «портовая логистика», «maritime container terminal remote sensing», «UA port monitoring», «satellite monitoring logistics», «computer vision container stacking», «digital twin port». Поиск информации проведен в следующих научных журналах: «ГЕОМАТИКА», «Исследование Земли из космоса», «Вестник СГУГиТ», «Remote Sensing», «Remote Sensing of Environment», «European Journal of Remote Sensing», «ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing», «IEEE Instrumentation & Measurement Magazine», «IEEE Acces», «Chinese Journal of Aeronautics», «IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (JSTARS)», «Maritime Policy & Management», «Advanced Engineering Informatics», «Journal of Engineering Project and Production Management», «Journal of Marine Science and Engineering», «Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review», «Advanced Engineering Informatics», «Ocean Engineering», «Journal of Transport Geography». Было проанализировано 97 источников, из которых 68 вошли в итоговый анализ. Основное внимание уделялось работам, содержащим описание методик, алгоритмов или количественных оценок эффективности мониторинга МКТ.

Распределение публикаций по тематикам представлено в табл. 1.

Распределение публикаций по тематикам представлено в табл. 1.

Таблица 1. Распределение публикаций по тематикам (2010–2026 гг.)

Тематика исследований	Количество публикаций	Доля, %
Спутниковый мониторинг МКТ	22	32,4
Применение БВС в портах	20	29,4
Математические модели логистики	15	22,0
Экологический мониторинг	7	10,3
Комплексные системы	4	5,9
Всего	68	100,0

Анализ литературы позволил выделить несколько ключевых направлений исследований отечественных и зарубежных авторов.

Наиболее развитым направлением научных исследований является автоматизированный подсчет и идентификация контейнеров на основе методов компьютерного зрения и глубокого обучения. Ранние работы [16–18]

опирались на анализ спектральных признаков и геометрических форм на спутниковых снимках среднего разрешения (Sentinel-2, Landsat). Современные исследования используют сверточные нейронные сети и алгоритмы глубокого обучения, такие как YOLO или Faster R-CNN, для обнаружения и классификации судов [19–21], а также семантиче-

скую сегментацию и анализ сетки для подсчета контейнеров на снимках сверхвысокого разрешения (WorldView, Pleiades, данные БВС) [22–24]. Высокая точность современных алгоритмов применительно к свободно стоящим контейнерам ожидаемо снижается при плотном штабелировании или сложных условиях освещения. Данная проблема может быть решена путем использования открытых размеченных наборов данных для обучения моделей под специфику разных портов.

Спутниковая съемка с высокой периодичностью эффективна для мониторинга транспортных потоков и активности техники, отслеживания долгосрочных изменений и общей загруженности терминала [25]. Для тактического управления в реальном времени применяются БВС, позволяющие отслеживать траектории движения кранов, автомобильных контейнерных погрузчиков, транспортировочных тележек и автотранспорта [26]. Комбинируя данные GPS/ГЛОНАСС с видеопотоком с БВС, исследователи строят модели транспортных потоков для выявления «узких мест» [27]. Однако для корреляции данных ДЗЗ разного пространственно-временного масштаба с внутренними бизнес-процессами терминала необходима разработка семейства моделей разного уровня и детализации элементов оборудования.

Данные стереосъемки и лидарного сканирования с БВС или самолетов используются для построения цифровых моделей рельефа и местности [28] и создания 3D-моделей штабелей контейнеров [29, 30]. Это позволяет точно оценивать заполняемость складских площадок и оптимизировать вертикальное хранение. Спутниковые интерферометрические методы применяются для мониторинга деформаций инфраструктуры (причалов, крановых путей) [31]. Недостатком данного подхода являются высокая стоимость регулярного получения данных лидарной съемки и специализированного программного обеспечения для их обработки [32].

Для решения специальных задач мониторинга МКТ возможно применение методов спектрального анализа. Так, тепловая инфракрасная съемка используется для мониторинга работы рефрижераторных контейнеров

по тепловым аномалиям [33]. Мульти- и гиперспектральная съемка помогает в обнаружении разливов нефтепродуктов на акватории [34] и оценке состояния растительности на прилегающих территориях. Однако низкое пространственное разрешение общедоступных спектральных данных (например, Sentinel-3) не позволяет использовать их для детального анализа на уровне отдельного контейнера.

Перспективные исследования посвящены интеграции потоков данных ДЗЗ в геоинформационные системы, системы поддержки принятия решений и платформы цифровых двойников [35, 36]. Такие подходы позволяют визуализировать текущее состояние МКТ, проводить симуляции сценариев (например, прибытие судна-гиганта) и оценивать их влияние на логистические показатели. Недостатки данного направления исследований связаны со сложностью создания динамических, самообновляемых моделей, требующих автоматического потока данных от ДЗЗ и датчиков IoT (Internet of Things).

Существующие публикации в области использования аэро- и космических съемок для мониторинга МКТ описывают применение конкретного типа данных для решения отдельной задачи. При этом отсутствует системная методология, которая позволила бы определять необходимые требования к данным ДЗЗ (разрешение, периодичность, латентность) на основе формализованного описания задачи управления МКТ (например, «оперативная оценка времени разгрузки судна» или «выявление контейнеров с превышением срока хранения»), а также применять количественные модели или четкие экспертные правила для выбора оптимального носителя или комбинации носителей с учетом экономических и операционных ограничений.

Таким образом, проведенный анализ научной литературы, посвященной методам применения данных ДЗЗ для мониторинга МКТ, позволил сформулировать ключевую методологическую проблему: отсутствие систематизированных критериев и количественных моделей для обоснованного выбора типа носителя (спутник, самолет, БВС) и параметров

съемки под конкретные технологические задачи управления МКТ.

Сравнительный анализ возможностей носителей данных ДЗЗ и формулировка методологической проблемы

Данные аэро- и космических съемок можно использовать для решения широкого спектра задач мониторинга МКТ. От автоматического подсчета количества и расположения контейнеров в интересах определения загрузки отдельных функциональных зон МКТ, выявления «узких мест» технологического процесса, повреждений инфраструктуры, контроля санитарных зон до планирования строительства новых объектов и мониторинга строительных проектов [37].

Каждая из задач определяет требования к эффективности ДЗЗ, частными показателями которой являются результативность,

оперативность и ресурсоемкость процесса получения данных. Частные показатели в свою очередь определяются характеристиками средств ДЗЗ.

Аэро- и космические съемки превращают контейнерный терминал в «умный» объект с прозрачными процессами и минимизированными рисками. Получаемые геопространственные данные, обработанные с использованием специализированных алгоритмов, становятся важной аналитикой, позволяющей повысить эффективность функционирования МКТ и планирования его развития. При этом наиболее эффективен гибридный подход, комбинирующий данные, получаемые со спутников, самолетов и БВС, учитывающий присущие им недостатки и преимущества.

На основе обзора и анализа характеристик (показателей качества) носителей данных ДЗЗ (табл. 2) можно сделать вывод, что универсального решения не существует.

Таблица 2. Сравнительная характеристика носителей данных ДЗЗ для мониторинга МКТ

Показатели	КА	Самолет	БВС	Ключевое влияние на задачи МКТ
Тип покрытия	Глобальное, региональное	Региональное, локальное	Локальное (до 10–20 км ²)	Спутник – для стратегического мониторинга нескольких терминалов; БВС – для тактических задач в рамках одного МКТ
Пространственное разрешение r	Средне-сверхвысокое (0,3–10 м)	Сверхвысокое (0,1–0,5 м)	Сверхвысокое (0,01–0,1 м)	Разрешение < 0,5 м необходимо для детектирования отдельных контейнеров и техники
Периодичность съемки	От 1 раза в день до 2 недель	По заказу (часы-дни)	По требованию (минуты)	Для контроля динамичных процессов (разгрузка судна) требуется периодичность от 15 мин. до 1 часа
Оперативность получения данных	Низкая-средняя (часы-сутки)	Средняя (часы после съемки)	Высокая (минуты после съемки)	Критична для реагирования на инциденты (аварии, пожары)
Стоимость (за единицу площади)	Низкая (архив), средняя (заказ)	Высокая	Низкая-средняя	Определяет экономическую целесообразность для рутинного мониторинга
Стоимость (для точечной задачи)	Высокая	Высокая	Низкая-средняя	Определяется важностью задачи
Возможности 3D-моделирования	Ограниченные (стереопары)	Высокие (лидар, стерео)	Высокие (лидар, SfM-фотограмметрия)	Необходимы для оценки объемов штабелей и планирования
Спектральные возможности	Широкие (мульти-, гипер-, TIR)	Широкие (зависит от сенсора)	Широкие (зависит от сенсора)	Определяют возможность решения спец. задач (мониторинг рефрижераторов)

Так как эффективность мониторинга МКТ оценивается с использованием набора комплексных показателей качества данного процесса (результативности, оперативности и ресурсоемкости), то выбор между спутником, самолетом и БВС представляет собой многокритериальную оптимизационную задачу [38].

Для определения значений весовых коэффициентов показателей качества средств ДЗЗ использовался экспертный метод.

Отбор экспертов осуществлялся на основе их профессиональной компетентности, академической квалификации и практического опыта. Для оценивания компетентности экспертов использовался тестовый метод, включающий анкетирование по вопросам теории и практики ДЗЗ, самооценку эксперта, анализ публикационной активности в тематической области, учет рецензий и отзывов коллег.

Формирование экспертной комиссии проводилось в результате решения оптимизационной задачи динамического программирования выбора группы наиболее компетентных экспертов при ограниченном бюджете на проведение опроса. Окончательный вариант состава экспертной группы включал 15 экспертов.

Для проведения экспертизы использовался метод Дельфи – итерационная процедура экспертного оценивания, обеспечивающая последовательное приближение к согласованному мнению группы экспертов при сохранении анонимности суждений.

На первом туре экспертного опроса экспертам был предложен для анализа исходный перечень из 20 показателей качества средств ДЗЗ, в том числе их пространственно-временные, оперативно-технические, эксплуатационные и экономические характеристики. Необходимо было провести ранжирование показателей по значимости и исключить незначимые для задач мониторинга МКТ показатели.

К показателям, исключенным более чем 70 % экспертов, относились радиометрическое разрешение, стабильность калибровки,

наличие гиперспектрального режима, чувствительность приемника излучения (соотношение «сигнал/шум»), стоимость оборудования (дублируется показателем «стоимость 1 км²»), ширина полосы захвата (дублируется показателем «площадь покрытия»).

Таким образом, экспертный опрос проводился с целью получения количественных оценок значимости (весовых коэффициентов) 14 показателей качества средств ДЗЗ применительно к задачам мониторинга МКТ.

Для каждого показателя рассчитывалось среднее арифметическое оценок всех экспертов. Для оценки степени согласованности мнений экспертов использовался коэффициент конкордации Кендалла. Статистическая значимость коэффициента конкордации проверялась с использованием критерия χ^2 .

Для получения итогового ранжирования показателей использовался метод медианы Кемени для метризованных ранжирований. После получения предварительных оценок проводилась проверка условия аддитивности, в соответствии с которым совместному осуществлению альтернатив должна соответствовать сумма их численных оценок.

Получение численных оценок альтернатив производилось по методу Черчмена – Акофа. После получения предварительных оценок альтернатив и их нормирования проводилась проверка на выполнение условия аддитивности, согласно которому совместному осуществлению альтернатив соответствует сумма их численных оценок.

Высокая согласованность экспертов и устойчивость результатов подтверждают надежность полученных весовых коэффициентов, которые могут быть использованы в качестве основы для многокритериального выбора средств ДЗЗ при мониторинге МКТ.

Результаты экспертного опроса, при котором были определены весовые коэффициенты показателей качества средств ДЗЗ, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Показатели качества средств ДЗЗ

Показатели	Единица измерения	Весовой коэффициент
Пространственное разрешение	м/пиксель	0,15
Периодичность съемки	часы	0,12
Стоимость 1 км ²	руб.	0,10
Оперативность получения данных	минуты	0,09
Точность позиционирования	м	0,08
Спектральные каналы	количество	0,07
Площадь покрытия	км ² /сутки	0,07
Работа в облачность	баллы (1–5)	0,06
Автоматизация анализа	%	0,06
Разрешение на полеты	баллы (1–5)	0,05
Энергопотребление	кВт·ч	0,05
Долговечность	года	0,04
Ремонтопригодность	баллы (1–5)	0,03
Экологичность	баллы (1–5)	0,03

Предлагается следующий алгоритм выбора средств ДЗЗ на основе многофакторного анализа.

1. Определение задачи мониторинга (1 из 5 групп):

- стратегический мониторинг грузопотока и логистики МКТ (Z_1);
- тактический мониторинг МКТ: оперативное планирование и управление (Z_2);
- безопасность и охрана МКТ (Z_3);
- экологический и технологический надзор территории МКТ (Z_4);
- планирование развития и строительства МКТ (Z_5).

2. Расчет коэффициента эффективности для каждого средства ДЗЗ:

$$K_c = \sum_{i=1}^{14} w_i q_i ,$$

где w_i – весовой коэффициент i -го показателя качества;

q_i – нормализованное значение показателя качества.

Значения весовых коэффициентов w_i рассчитываются для каждой задачи индивидуально либо усредняются по группам задач или по всем задачам.

При определении показателей качества q_i используется линейное нормирование относительно лучшего значения среди сравниваемых средств ДЗЗ по каждому показателю.

3. Выбор оптимального средства по максимальному значению коэффициента эффективности K_c , $c = \{\text{КА, самолет, БВС}\}$.

Пример результатов расчета коэффициентов эффективности K_c для типовых задач мониторинга МКТ (по одной из каждой группы) на основе условно-реальных значений параметров представлены в табл. 4.

Таблица 4. Рекомендации по выбору средств ДЗЗ

Задача	Оптимальное средство	Коэффициент эффективности	Альтернатива/коэффициент эффективности
Подсчет контейнеров (Z_1)	БВС ($r = 5$ см)	0,95	Самолет ($r = 10$ см) 0,33
Определение неэффективного использования площадей (Z_2)	КА ($r = 1$ м)	0,87	КА ($r = 5$ м) 0,49
Инспекция кранового оборудования (Z_3)	БВС ($r = 5$ см)	0,92	Наземная съемка 0,73
Обнаружение разливов нефти (Z_4)	КА (мультиспектр.)	0,78	БВС (тепловизор) 0,48
Мониторинг строительства (Z_5)	БВС + КА	0,84	Самолет 0,39

Перспективы исследований: от обзора к моделированию

Ключевая методологическая проблема заключается в отсутствии систематизированных критериев и количественных моделей для обоснованного выбора средства ДЗЗ и параметров съемки под конкретные технологические задачи управления МКТ.

Для решения сформулированной проблемы предлагается следующий путь дальнейших исследований.

Этап 1. Разработка формализованной схемы декомпозиции задач управления МКТ. Необходимо создать классификатор задач (стратегические, тактические, оперативные) и для каждой определить значения весовых коэффициентов w_i , а также правила нормирования и значения показателей качества q_i .

Этап 2. Создание математической модели «задача – данные – решение». Модель должна устанавливать функциональную зависимость ключевых показателей эффективности KPI МКТ от параметров, полученных при обработке данных ДЗЗ:

$$KPI = F(P_1, P_2, \dots, P_n),$$

где P_i – параметры, получаемые при обработке данных ДЗЗ (интенсивность потоков, количество объектов, геометрические характеристики).

$$P_i = G(X_i),$$

где X_i – характеристики (показатели качества) данных ДЗЗ (разрешение, точность геопривязки, латентность);

G – алгоритм обработки (детектирование, трекинг, классификация).

В дальнейшем необходимо определить, как характеристики X_i зависят от выбора носителя и режима съемки.

Этап 3. Разработка и верификация методики. На данном этапе требуется выполнить следующие операции.

1. Создать или адаптировать алгоритмы компьютерного зрения для извлечения параметров P_i из реальных данных аэро- и космических съемок для тестового терминала.

2. Провести численный эксперимент: используя разработанную модель и реальные (либо синтезированные) данные, сравнить расчетные KPI с фактическими данными терминала.

3. На основе моделирования предложить рекомендации по выбору конфигурации системы мониторинга (например: «Для ежедневной оценки заполненности склада A достаточно спутниковых данных с разрешением 0,5 м; для почасового контроля разгрузки у причала B необходимо БВС с облетом каждые 30 минут»).

Заключение

Проведенный аналитический обзор подтвердил высокий потенциал применения данных аэро- и космических съемок в целях повышения эффективности логистики МКТ. Однако переход от демонстрации возможностей к их системному внедрению сдерживается отсутствием обоснованной методологии выбора средств ДЗЗ.

Основным научным результатом данной работы является сформулированная исследовательская проблема: отсутствие математических моделей для обоснованного выбора средства ДЗЗ и параметров съемки под конкретные технологические задачи управления МКТ.

Практическая значимость решения этой проблемы заключается в возможности разработки инструментов поддержки принятия решений для менеджеров портов и логистических компаний, позволяющих обоснованно проектировать и внедрять системы мониторинга на основе аэро- и космических съемок.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на реализацию предложенного трехэтапного плана, начиная с разработки детализированной классификации задач управления МКТ и заканчивая созданием и апробацией математической модели.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gharehgozli, A., Mileski, J., Duru, O. (2017). Heuristic estimation of container stacking and re-shuffling operations under the containership delay factor and mega-ship challenge. *Maritime Policy & Management*, Vol. 44(3), pp. 373–391. DOI 10.1080/03088839.2017.1295328.
2. Yang, Y., Zhong, M., Yao, H., Yu, F., & Fu, X. (2018). Internet of Things for Smart Ports: Technologies and Challenges. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, Vol. 21(1), pp. 34–43. DOI 10.1109/MIM.2018.8278808.
3. Кулик Е. Н., Байкин Д. А. Разливы нефтепродуктов на водной поверхности: методы анализа данных дистанционного зондирования Земли при их выявлении. *Вестник СГУГиТ*. 2022. Т. 27, № 4. С. 61–73. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-61-73.
4. Port performance and maritime trade and transport facilitation. (2023). *Review of Maritime Transport 2023*. United Nations Conference on Trade and Development. New York: United Nations Publications. 126 p. eISBN: 978-92-1-358456-9.
5. Ducruet, C. (2020). The Geography of Maritime Networks: A Critical Review. *Journal of Transport Geography*, Vol. 88, Issue 3: 102824. DOI 10.1016/j.jtrangeo.2020.102824.
6. Сквазников М. А., Колыгин Д. Л. Подход к расчету интенсивности транспортных потоков при организации наземных перевозок в районе ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций по данным дистанционного зондирования Земли. *Вестник СГУГиТ*. 2023. Т. 28, № 3. С. 77–91. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-3-77-91.
7. Тимченко Т. Н., Глушко С. Н. Морские контейнерные терминалы как составляющая часть транспортной системы РФ. *Современные аспекты экономики*. 2016. № 5 (225). С. 14–19.
8. Приходько Ф. Н., Радчин С. П., Тимошенко К. А. Анализ контейнерного терминала НУТЭП Новороссийского морского порта и его роли в экспортно-импортных отношениях России и Турции. *Молодой ученый*. 2024. № 37 (536). С. 20–26.
9. Notteboom, T., Pallis, A., Rodrigue, J.-P. (2022). *Port Economics, Management and Policy*. London: Routledge. 690 с. DOI 10.4324/9780429318184.
10. Рева Я. С., Винокур Л. Б. О повышении пропускной способности владивостокского контейнерного терминала. *Проблемы транспорта Дальнего Востока. Доклады XII научно-практической конференции*. 2017. Т. 1. С. 292–296.
11. Карпик А. П., Мусихин И. А., Ветошкин Д. Н. Интеллектуальные информационные модели территорий как эффективный инструмент пространственного и экономического развития. *Вестник СГУГиТ*. 2021. Т. 26, № 2. С. 155–163. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-155-163.
12. Mi, C., Huang Y., Fu, C., Zhang, Z. (2021). Vision-based measurement: Actualities and developing trends in automated container terminals. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 24(6), pp. 65–76. DOI 10.1109/MIM.2021.9448257.
13. Vasileiadis, S., Asiam, Sh., Orphanides, K., Cassera, O. (2025). Real-time container tracking and damage detection at seaports using deep learning. *Proceedings of the 20th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (FedCSIS)*, Vol. 43, pp. 277–285. DOI 10.15439/2025F5518.
14. Li, Y., Tian, Y., Yuan, C. et al. (2025). YOLO-UAV Ship: An effective method and dataset for multi-view ship detection in UAV images. *Remote Sensing*, Vol. 17(17). DOI 10.3390/rs17173119.
15. Hsieh, C.-C., Chen, C.-A., Huang, W.-H. (2026). A real-time YOLO based container grapple slot detection and classification system. *Computers, Materials & Continua*, Vol. 86(3). DOI 10.32604/cmc.2025.072514.
16. Labib, S., Harris, A. (2018). The potentials of Sentinel-2 and LandSat-8 data in green infrastructure extraction, using object based image analysis (OBIA) method. *European Journal of Remote Sensing*. Vol. 51(1), pp. 231–240. DOI 10.1080/22797254.2017.1419441.
17. Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 65(1), pp. 2–16. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004.
18. Kanjir, U., Greidanus, H., Oštir, K. (2018). Vessel Detection and Classification from Spaceborne Optical Images: A Literature Survey. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 207, pp. 1–26. DOI 10.1016/j.rse.2017.12.033.

19. Liu, Y., Cui, H., & Li, G. (2017). A novel method for ship detection and classification on remote sensing images. *Proceedings of 26th International Artificial Neural Networks and Machine Learning Symposium (ICANN)*, pp. 556–564. Springer International Publishing, Algero, Italy, 2017. DOI 10.1007/978-3-319-68612-7-63.
20. Zakharov, I., Lavigne, D. A., Warren, S., Henschel, M. D., Power, D., & Howell, M. (2021). Ship detection and classification in EO/IR VHR satellite imagery. *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. pp. 3561–3564. Springer International Publishing, Brussels, Belgium, 2021. DOI 10.1109/IGARSS47720.2021.9553254.
21. Li, B., Xie X., Wei X., & Tang, W. (2020). Ship Detection and Classification from Optical Remote Sensing Images: A Survey. *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 34(3), pp. 145–163. DOI 10.1016/j.cja.2020.09.022.
22. Zhou, B., Wang, Z. (2024). An Automated Method for Container Counting in Satellite Images Based on Grid Analysis and Shadow Recognition. *IEEE Acces.* P. 99. DOI 10.1109/access.2024.3440041.
23. Yasuda, K., Shibasaki, R., Yasuda, R., Murata, H. (2024). Terminal Congestion Analysis of Container Ports Using Satellite Images and AIS. *Remote Sensing*, Vol. 16, No 6, p. 1082. DOI 10.3390/rs16061082.
24. Afiq, A., Jasmee, J., Khairul, N.-T., Hezri, R. (2019). Shipping container counting approach using unmanned aerial vehicle (UAV) and ArcGIS. *Built Environment Journal*, Vol. 16(2): 15, pp. 120–129. DOI 10.24191/bej.v16i2.9693.
25. Murata, H., Shibasaki, R., Imura N., Nishinari, K. (2023). Identifying the operational status of container terminals from high-resolution nighttime-light satellite image for global supply chain network optimization. *Remote Sensing*, Vol. 4, pp. 21–31. DOI 10.3389/frsen.2023.1229745.
26. Tanga, G., Guoa, Y., Qib, Y., Fangb, Z., Zhaoa, Z., Lia, M., Zhenab, Z. (2025). Real-time twin automated double cantilever rail crane scheduling problem for the U-shaped automated container terminal using deep reinforcement learning. *Advanced Engineering Informatics*. Vol. 5, Part A. DOI 10.1016/j.aei.2025.103193.
27. Arfakhshyad, A. A., Rahman, A. N., Kinanti, L. et al. (2023). Unmanned aerial vehicle (UAV) data-driven modelling software with integrated 9-axis IMU-GPS sensor fusion and data filtering algorithm. *The 15th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Chiang Mai, Thailand, 2023, pp. 167–173. DOI 10.1109/ICITEE59582.2023.10317781.
28. Chelioti, K. H., Tsaimou, C. N., Tsoukala, V. K. (2023). Unmanned aerial vehicles: A survey on monitoring advancements for port infrastructure applications. *Journal of Engineering Project and Production Management*, Vol. 13(3), 0023. DOI 10.32738/JEPPM-2023-0023.
29. Baraldi, A., Tiede, D. (2015). Geospatial 2D and 3D object-based classification and 3D reconstruction of ISO-containers depicted in a LiDAR data set and aerial imagery of a harbor. *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Springer International Publishing, Milan, Italy, 2015. DOI 10.1109/IGARSS.2015.7326747.
30. Martinez, J. G., Alarcon, L. A., Wandahl, S. (2024). Unmanned Aerial Systems (UAS)-Derived 3D Models for Digital Twin Construction Applications. *Applications of Point Cloud Technology*. DOI 10.5772/intechopen.1004746.
31. Osmanoglu, B., Sunar, F., Wdowinski, S., Cabral-Cano, E. (2016). Time Series Analysis of InSAR Data: Methods and Trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 115, pp. 90–102. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2015.10.003.
32. Алтынцев М. А. Методика интеграции данных мобильного лазерного сканирования и аэрофотосъемки для создания цифровой модели местности. *Вестник СГУГиТ*. 2022. Т. 27, № 5. С. 5–18. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-5-5-18.
33. Kan, A., Chen, Z., Ye, Z., Zhang, J. (2025). Thermal behavior investigation on marine reefer container envelopes embedded with vacuum insulation panel. *Thermal Science and Engineering*, Vol. 8(2), pp. 115–126. DOI 10.24294/tse11631.
34. Leifer, I. et al. (2012). State of the Art Satellite and Airborne Marine Oil Spill Remote Sensing: Application to the BP Deepwater Horizon Oil Spill. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 124, pp. 185–209. DOI 10.1016/j.rse.2012.03.024.

35. Tao, F., Qi, Q., Wang, L., Nee, A.Y.C. (2019). Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. *Engineering*, Vol. 5(4), pp. 653–661. DOI 10.1016/j.eng.2019.01.014.
36. Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In book: *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*. pp. 85-113. Springer International Publishing. 327 p. DOI 10.1007/978-3-319-38756-7.
37. Tang, G., Wang, C., Zhang, Z., Men, S. (2024). UAV Path Planning for Container Terminal Yard Inspection in a Port Environment. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol. 12, No 1, 128. DOI 10.3390/jmse12010128.
38. Alvares-Vanhard, E., Corpetti, T., Houet, T. (2021) UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review. *Science of Remote Sensing*, Vol. 3, pp. 100019. DOI 10.1016/j.srs.2021.100019. HAL Id: hal-03137315.

REFERENCES

1. Gharehgozli, A., Mileski, J., Duru, O. (2017). Heuristic estimation of container stacking and re-shuffling operations under the containership delay factor and mega-ship challenge. *Maritime Policy & Management*, Vol. 44(3), pp. 373–391. DOI 10.1080/03088839.2017.1295328.
2. Yang, Y., Zhong, M., Yao, H., Yu, F., & Fu, X. (2018). Internet of Things for Smart Ports: Technologies and Challenges. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, Vol. 21(1), pp. 34–43. DOI 10.1109/MIM.2018.8278808.
3. Kulik, E. N., Baikin, D. A. (2022). Oil spills on the water surface: methods of remote sensing data analysis for their identification. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 27, No 4, pp. 61–73, DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-61-73 [in Russian].
4. Port performance and maritime trade and transport facilitation. (2023). Review of Maritime Transport 2023. United Nations Conference on Trade and Development. New York: United Nations Publications. 126 p. eISBN: 978-92-1-358456-9.
5. Ducruet, C. (2020). The Geography of Maritime Networks: A Critical Review. *Journal of Transport Geography*, Vol. 88, Issue 3: 102824. DOI 10.1016/j.trangeo.2020.102824.
6. Skvaznikov, M. A., Kolygin, D. L. (2023) An approach to traffic flows intensity calculating in the organization of ground transportation in the area of emergency response based on the Earth remote sensing data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 28, No 3, pp. 77–91, DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-3-77-91 [in Russian].
7. Timchenko, T. N., Glushko, S. N. (2016). Sea container terminals as an integral part of the Russian Federation's transport system. *Sovremennye aspekty ekonomiki [Modern aspects of economics]*, No 5 (225), pp. 14–19 [in Russian].
8. Prikhod'ko, F. N., Radchin, S. P., Timoshenko, K. A. (2024) Analysis of the NUTEP container terminal of the Novorossiysk seaport and its role in export-import relations between Russia and Turkey. *Molodoi uchenyi [Young scientist]*, No 37 (536), pp. 20–26 [in Russian].
9. Notteboom, T., Pallis, A., Rodrigue, J.-P. (2022). *Port Economics, Management and Policy*. Routledge. 690 p. DOI 10.4324/9780429318184.
10. Reva, Ya. S., Vinokur, L. B. (2017). On increasing the throughput capacity of the Vladivostok container terminal. *Problemy transpota Dal'nego Vostoka. Doklady XII nauchno-prakticheskoy konferencii [Transport problems in the Far East. Reports of the XII scientific and practical conference]*. Vladivostok, 2017. Vol. 1, pp. 292–296 [in Russian].
11. Karpik, A. P., Musikhin, I. A., Vetoshkin D. N. (2021) Smart information models as an effective tool of regional spatial and economic development. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 26, No 2, pp. 155–163, DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-155-163 [in Russian].
12. Mi, C., Huang Y., Fu, C., Zhang, Z. (2021). Vision-based measurement: Actualities and developing trends in automated container terminals. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 24(6), pp. 65–76. DOI 10.1109/MIM.2021.9448257.

13. Vasileiadis, S., Asiam, Sh., Orphanides, K., Cassera, O. (2025). Real-time container tracking and damage detection at seaports using deep learning. *Proceedings of the 20th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (FedCSIS)*, Vol. 43, pp. 277–285. DOI 10.15439/2025F5518.
14. Li, Y., Tian, Y., Yuan, C. et al. (2025). YOLO-UAVShip: An effective method and dataset for multi-view ship detection in UAV images. *Remote Sensing*, Vol. 17(17). DOI 10.3390/rs17173119.
15. Hsieh, C.-C., Chen, C.-A., Huang, W.-H. (2026). A real-time YOLO based container grapple slot detection and classification system. *Computers, Materials & Continua*, Vol. 86(3). DOI 10.32604/cmc.2025.072514.
16. Labib, S., Harris, A. (2018). The potentials of Sentinel-2 and LandSat-8 data in green infrastructure extraction, using object based image analysis (OBIA) method. *European Journal of Remote Sensing*. Vol. 51(1), pp. 231–240. DOI 10.1080/22797254.2017.1419441.
17. Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 65(1), pp. 2–16. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004.
18. Kanjir, U., Greidanus, H., Oštir, K. (2018). Vessel Detection and Classification from Spaceborne Optical Images: A Literature Survey. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 207, pp. 1–26. DOI 10.1016/j.rse.2017.12.033.
19. Liu, Y., Cui, H., & Li, G. (2017). A novel method for ship detection and classification on remote sensing images. *Proceedings of 26th International Artificial Neural Networks and Machine Learning Symposium (ICANN)*. pp. 556–564. Springer International Publishing, Algero, Italy, 2017. DOI 10.1007/978-3-319-68612-7-63.
20. Zakharov, I., Lavigne, D. A., Warren, S., Henschel, M. D., Power, D., & Howell, M. (2021). Ship detection and classification in EO/IR VHR satellite imagery. *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. pp. 3561–3564. Springer International Publishing, Brussels, Belgium, 2021. DOI 10.1109/IGARSS47720.2021.9553254.
21. Li, B., Xie X., Wei X., & Tang, W. (2020). Ship Detection and Classification from Optical Remote Sensing Images: A Survey. *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 34(3), pp. 145–163. DOI 10.1016/j.cja.2020.09.022.
22. Zhou, B., Wang, Z. (2024). An Automated Method for Container Counting in Satellite Images Based on Grid Analysis and Shadow Recognition. *IEEE Acces*. p. 99. DOI 10.1109/access.2024.3440041.
23. Yasuda, K., Shibasaki, R., Yasuda, R., Murata, H. (2024). Terminal Congestion Analysis of Container Ports Using Satellite Images and AIS. *Remote Sensing*, Vol. 16, No 6, p. 1082. DOI 10.3390/rs16061082.
24. Afq, A., Jasmee, J., Khairul, N.-T., Hezri, R. (2019). Shipping container counting approach using unmanned aerial vehicle (UAV) and ArcGIS. *Built Environment Journal*, Vol. 16(2): 15, pp. 120–129. DOI 10.24191/bej.v16i2.9693.
25. Murata, H., Shibasaki, R., Imura N., Nishinari, K. (2023). Identifying the operational status of container terminals from high-resolution nighttime-light satellite image for global supply chain network optimization. *Remote Sensing*, Vol. 4, pp. 21–31. DOI 10.3389/frsen.2023.1229745.
26. Tanga, G., Guoa, Y., Qib, Y., Fangb, Z., Zhaoa, Z., Lia, M., Zhenab, Z. (2025). Real-time twin automated double cantilever rail crane scheduling problem for the U-shaped automated container terminal using deep reinforcement learning. *Advanced Engineering Informatics*. Vol. 5, Part A. DOI 10.1016/j.aei.2025.103193.
27. Arfakhsyad, A. A., Rahman, A. N., Kinanti, L. et al. (2023). Unmanned aerial vehicle (UAV) data-driven modelling software with integrated 9-axis IMU-GPS sensor fusion and data filtering algorithm. *The 15th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Chiang Mai, Thailand, 2023, pp. 167–173. DOI 10.1109/ICITEE59582.2023.10317781.
28. Chelioti, K. H., Tsaimou, C. N., Tsoukala, V. K. (2023). Unmanned aerial vehicles: A survey on monitoring advancements for port infrastructure applications. *Journal of Engineering Project and Production Management*, Vol. 13(3), 0023. DOI 10.32738/JEPPM-2023-0023.
29. Baraldi, A., Tiede, D. (2015). Geospatial 2D and 3D object-based classification and 3D reconstruction of ISO-containers depicted in a LiDAR data set and aerial imagery of a harbor. *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Springer International Publishing, Milan, Italy, 2015. DOI 10.1109/IGARSS.2015.7326747.

30. Martinez, J. G., Alarcon, L. A., Wandahl, S. (2024). Unmanned Aerial Systems (UAS)-Derived 3D Models for Digital Twin Construction Applications. *Applications of Point Cloud Technology*. DOI 10.5772/intechopen.1004746.
31. Osmanoglu, B., Sunar, F., Wdowinski, S., Cabral-Cano, E. (2016). Time Series Analysis of InSAR Data: Methods and Trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 115, pp. 90-102. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2015.10.003.
32. Altyntsev, M. A. (2022) Integration of mobile laser scanning and aerial imagery data for generating digital surface models. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 27, No 5, pp. 5-18, DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-5-5-18 [in Russian].
33. Kan, A., Chen, Z., Ye, Z., Zhang, J. (2025). Thermal behavior investigation on marine reefer container envelopes embedded with vacuum insulation panel. *Thermal Science and Engineering*, Vol. 8(2), pp. 115-126. DOI 10.24294/tse11631.
34. Leifer, I. et al. (2012). State of the Art Satellite and Airborne Marine Oil Spill Remote Sensing: Application to the BP Deepwater Horizon Oil Spill. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 124, pp. 185-209. DOI 10.1016/j.rse.2012.03.024.
35. Tao, F., Qi, Q., Wang, L., Nee, A. Y. C. (2019). Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. *Engineering*, Vol. 5(4), pp. 653-661. DOI 10.1016/j.eng.2019.01.014.
36. Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In book: *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*. pp. 85-113. *Springer International Publishing*. 327 p. DOI 10.1007/978-3-319-38756-7.
37. Tang, G., Wang, C., Zhang, Z., Men, S. (2024). UAV Path Planning for Container Terminal Yard Inspection in a Port Environment. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol. 12, No 1, 128. DOI 10.3390/jmse12010128.
38. Alvares-Vanhard, E., Corpetti, T., Houet, T. (2021) UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: *A literature review*. *Science of Remote Sensing*, Vol. 3, pp. 100019. DOI 10.1016/j.srs.2021.100019. HAL Id: hal-03137315.

Об авторах

Михаил Алексеевич Сквazников – кандидат технических наук, доцент кафедры оптико-электронных средств.

Дмитрий Леонидович Колыгин – преподаватель кафедры оптико-электронных средств.

Author details

Mikhail A. Skvaznikov – Ph. D., Associate Professor, Department of Optoelectronic Devices and Systems.

Dmitrii L. Kolygin – Lecturer, Department of Optoelectronic Devices and Systems.

Получено / Received 21.11.2025

Поступила после рецензирования / Revised 04.05.2026

Принята к публикации / Accepted 13.05.2026

Научно-практическая статья/Research article

УДК 528.944:911.2

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-62-71>

Формализация выбора оптимальных способов представления информации о динамике географических объектов

Р. Р. Аскаргов¹✉, С. А. Крылов¹

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

e-mail: rishat_ar@mail.ru

Аннотация. Исследованы вопросы формализации выбора оптимальных способов представления информации о динамике географических объектов. Разработана технология, позволяющая определить наиболее подходящие способы визуализации для правильного отображения изменений характеристик географических объектов карты в зависимости от поставленных целей. Для выбора способов визуализаций предлагаются две группы факторов: структура данных (количество характеристик, количество изменений за временной период, тип данных, характер временных данных) и назначение визуализации (цель исследования, вид издания). Выполнено кодирование используемых способов представления информации о динамике географических объектов и предлагаемых факторов. Формализация выбора основывается на составленной матрице соответствия кодов выделенных факторов и кодов оптимальных способов отображения информации о динамике географических объектов. Приведен пример использования разработанной матрицы.

Ключевые слова: географические объекты, динамика географических объектов, способы представления, таблицы, диаграммы, картографическая визуализация

Для цитирования:

Аскаргов Р. Р., Крылов С. А. Формализация выбора оптимальных способов представления информации о динамике географических объектов. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 62–71. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-62-71>

Formalizing the selection of optimal approaches to represent the dynamics of geographic objects

R. R. Askarov¹✉, S. A. Krylov¹

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

e-mail: rishat_ar@mail.ru

Abstract. The formalization issues of selecting optimal methods for representing information on the dynamics of geographic objects are investigated in the study. A methodology that determines the most suitable visualization techniques to accurately depict temporal changes in the attributes of mapped geographic features, tailored to specific objectives was developed. Two factor groups are proposed to select visualization technique: data structure (number of attributes, frequency of changes over a time, data type, and temporal characteristics) and visualization purpose (research objective and publication format). The visualization techniques and the proposed factors were encoded. The formal selection procedure is implemented via a correspondence matrix that maps codes of the identified factors to codes of optimal visualization techniques for representing the dynamics of geographical objects. An example illustrating the application of the matrix is provided.

Keywords: geographic objects, representation methods, tables, diagrams, cartographic visualization

For citation:

Askarov R. R., Krylov S. A. (2026) Formalizing the selection of optimal approaches to represent the dynamics of geographic objects. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 62–71. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-62-71>

Введение

Работа с пространственными данными предусматривает возможность определения изменяющейся во времени информации, изучение метрических и семантических характеристик географических объектов, анализа их тенденций и взаимосвязей, сравнение показателей за разные временные промежутки. Для отображения информации о динамике объектов в картографической продукции (карты/серии карт, атласы, ГИС-проект, веб-картографические сервисы) широко применяются различные способы визуализации, в основном это таблицы, диаграммы, разнообразные картографические изображения [1–4]. Их состав и размещение зависит от типа конечного продукта и может быть различным. Например, таблицы, диаграммы и 3D-визуализации могут быть даны как в специальном разделе атласа, так и в виде дополнительной информации к карте или во всплывающем окне при взаимодействии с интерактивными объектами на веб-картографическом сервисе или в ГИС-проекте. Картографическими изображениями, которые применяются для отображения информации о динамике объектов, могут быть отдельная статическая карта, серия карт, картографическая анимация, 3D-визуализация, карта-анаморфоза. При этом картографическая анимация может применяться только на веб-картографических сервисах и в

ГИС-проектах (без использования элементов дополненной реальности на аналоговой карте). Практическая реализация способов визуализации представлена в виде многочисленных разработанных алгоритмов и решений для различных программных средств. Так, в работе [5] имеется раздел, посвященный особенностям визуализации временных данных, где помимо общих рекомендаций и основных принципов визуализации содержатся подробные инструкции построения диаграмм как с помощью готовых решений (например, Adobe Illustrator), так и с помощью языков программирования (CSS, JavaScript, R, Python и др.). В геоинформационных системах для визуализации данных различными способами применяют встроенные инструменты или отдельные подгружаемые модули (плагины). Например, в QGIS создание диаграмм различных типов возможно как через свойства слоя (для размещения их на карте), так и с использованием модуля (плагина) Data Plotly в макете (для размещения в отчете).

Несмотря на значительное количество разработок по реализации способов визуализации информации о динамике объектов, в настоящее время отсутствуют решения по их автоматизированному выбору. Данная задача является актуальной в связи с большим количеством применяемых способов визуализации, различием в числе отображаемых

характеристик, их типе, характере временных данных и количестве изменений за исследуемый временной период. Также при выборе способа следует учитывать цель визуализации и место его применения (карта, атлас, ГИС-проект, веб-картографический сервис). Кроме того, при работе на веб-ресурсах визуально представлять информацию о динамике географических объектов могут не только специалисты в области картографии и геоинформатики, но и широкий круг пользователей.

Следует отметить, что в картографической практике существуют решения по формализации выбора различных способов отображения информации. Однако они касаются автоматизированного выбора способов изображения картографируемых объектов и явлений на тематических картах [6], а также формализации выбора способов отображения для элементов общегеографических и тематических карт в среде ГИС [7].

Статья посвящена формализации выбора способов визуализации изменений информации о географических объектах на основе анализа структуры (характеристик) данных и вариантов их использования. Это позволит пользователю определить, какие способы визуализации наиболее подходят для правильного отображения изменений характеристик географических объектов карты. Для достижения этого необходимо решить следующие задачи: предложить технологию автоматизированного определения оптимальных способов представления информации о динамике географических объектов; определить факторы, влияющие на выбор способов визуализаций; разработать матрицы соответствия, связывающей факторы со способами визуализации.

Материалы и методы исследования

Настоящая статья является продолжением исследований по автоматизированному формированию и визуализации справочных сведений о пространственных объектах на основе картографической базы данных [8, 9]. В ходе этих исследований определены пространственные объекты и их характеристики, для которых возможно получить и представить справочные сведения, разработана их

классификация и кодирование. Выделены три категории объектов: государства и политико-административные границы; социально-экономические объекты; природные объекты. Среди количественных и качественных семантических характеристик объектов выделяются характеристики, определяющие пространственные свойства объекта (например, высота, глубина и т. п.), топологические связи объектов; социально-экономические характеристики; показатели, характеризующие объекты природной среды.

Для автоматизированного общегеографического, тематического и атласного картографирования используется картографическая база данных, содержащая актуальную метрическую и семантическую информацию, причем состав и структура картографической базы данных должны обеспечивать автоматизацию не только технологических, но и информационных процессов [10]. Поэтому картографическую базу данных, формируемую на кафедре картографии МИИГАиК и представленную гидрографией, населенными пунктами, путями сообщения, границами, предлагается использовать в качестве источника для определения географических объектов и их характеристик.

Формирование информации об изменениях в метрике и семантике объектов картографической базы данных происходит на основе пространственно-временных баз данных. Для хранения изменяемых во времени и пространстве сведений и их связи с картографической базой данных предлагается использовать структуру пространственно-временных баз данных на примере создания исторических карт [11]. В ней предлагается полностью разделить геометрию и атрибутику объектов, что позволит вносить независимые друг от друга изменения. Среди концептуальных работ по организации пространственно-временных баз данных можно выделить исследования [12, 13].

Предыдущие исследования авторов позволили определить существующие способы визуализации изменений метрической и семантической информации о географических объектах, которые делятся на три большие группы: диаграммы, таблицы, картографи-

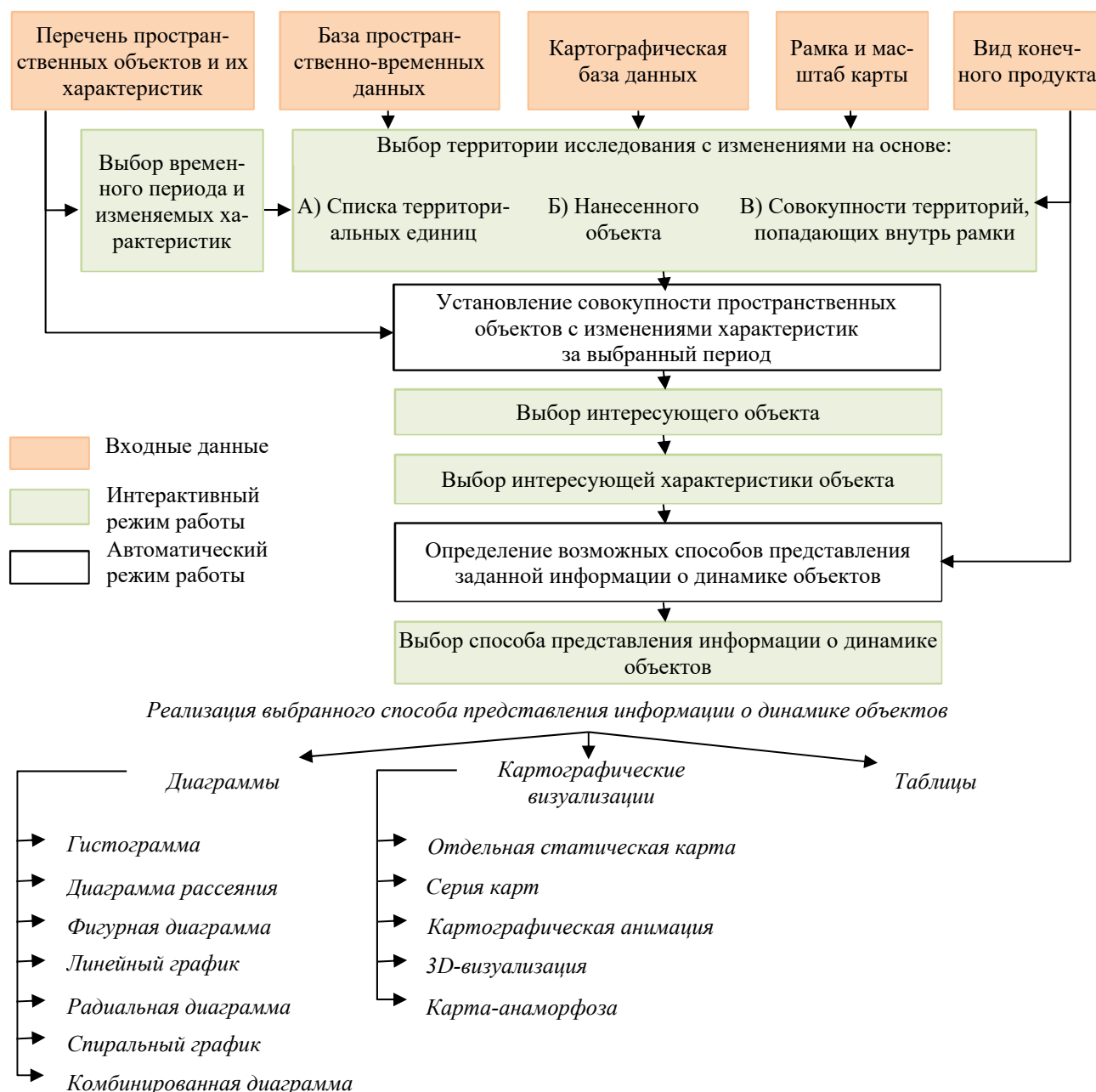
ческая визуализация [14]. Для автоматизации выбора способа выполнено их кодирование, в основу которого положен последовательный метод (табл. 1).

Таблица 1. Кодирование способов представления информации о динамике географических объектов

Код	Группа способов визуализации	Код	Способ визуализации	Описание
Д	Диаграммы	Д.1	Гистограмма	Горизонтальные или вертикальные столбцы в декартовой системе координат
		Д.2	Диаграмма рассеяния	Отдельные точки в декартовой системе координат
		Д.3	Фигурная диаграмма	Художественные изображения в декартовой системе координат
		Д.4	Линейный график	Точки, соединенные линией, в декартовой системе координат
		Д.5	Радиальная диаграмма	Точки, соединенные линией, или столбцы на радиально расположенных осях в полярной системе координат
		Д.6	Спиральный график	Данные в каком-либо виде (столбцы, линии, точки и т. д.), расположенные вдоль архимедовой спирали
		Д.7	Комбинированная диаграмма	Различные виды диаграмм, совмещенные на одном изображении
Т	Таблицы	Т.1	Таблица	Данные, приведенные в определенную систему и распределенные по графам
К	Картографическая визуализация	К.1	Отдельная статическая карта	Одна карта, отображающая динамику событий и явлений различными способами картографического изображения
		К.2	Серия карт	Несколько расположенных по порядку карт, каждая из которых отображает данные на определенный срез времени
		К.3	Картографическая анимация	Динамическая последовательность электронных карт-кадров, каждая из которых отображает данные на определенный срез времени
		К.4	3D визуализация	Интегрирование на картографическое изображение трехмерных объектов
		К.5	Карта-анаморфоза	Картограмма, отображающая значения показателя путем изменения площади территории

Результаты исследования и их обсуждение

Для автоматизированного определения оптимальных способов представления информации о динамике географических объектов предлагается технология, представленная на рисунке.



Технология автоматизированного определения оптимальных способов представления информации о динамике географических объектов

Оранжевым цветом на схеме выделены входные данные, зеленым – этапы работы, выполняемые в интерактивном режиме, белым – этапы работы, выполняемые в автоматическом режиме.

На первоначальном этапе в ручном или полуавтоматическом режиме выбирается интересующая территория исследования, имеющая изменения в метрической или семантической информации географических объектов. Для этого предлагаются следующие способы:

- выбор из списка территориальных единиц (административные единицы, бассейны рек, географические страны и др.), имеющих в картографической базе данных;

- выделение существующего или нанесенного на карту объекта, в том числе фиксированной (прямоугольной, круглой) или произвольной формы;

- автоматический выбор территориальных единиц, хранящихся в картографической базе данных и попадающих в охват рамки

карты или в созданный пользователем полигон различной формы, с последующим ручным выбором интересующей территории из сформированного перечня.

Уменьшение перечня территорий происходит на основе установки временного периода исследования и требуемых пользователю характеристик: метрических, топологических и семантических. При этом выбор временного периода ограничен имеющимися сведениями в базе пространственно-временных данных.

В результате для выбранной территории автоматически определяется совокупность пространственных объектов, имеющих изменения в заданном временном периоде и выбранных характеристиках. Из полученного списка выбирается интересующий для визуализации динамики информации объект и его характеристики.

Следующим этапом является определение предпочтительных способов представления динамики заданной информации на основе следующих факторов, разделенных на две группы:

1) структура (характеристика) данных:

- количество интересующих характеристик. При выборе нескольких характеристик целесообразно использовать способ комбинированных диаграмм. Например, на климатических картах для отображения температуры воздуха и количества осадков используются климатограммы, совмещающие линейный график и гистограмму. Также используются таблицы, отдельные статические карты, серии карт и картографические анимации;

- количество изменений за временной период. Например, если за выбранный временной период произошло не более трех изменений, то в использовании диаграмм нет необходимости, более рационально применять таблицы и способы картографической визуализации;

- тип данных в базе пространственно-временных данных и картографической базе данных. Для отображения символьных данных, например, изменений наименований географического объекта, подойдет только

табличный способ. Отображение числовых данных возможно любым способом;

- характер временных данных. Для отображения данных в дискретные моменты времени лучше подойдут гистограммы, диаграммы рассеяния, радиальные диаграммы, фигурные диаграммы, отдельные статические карты и серии карт. Для непрерывных временных рядов чаще всего используются линейные графики, радиальные диаграммы, картографические анимации и 3D-визуализации; для данных с циклической зависимостью – спиральные графики и картографические анимации. Таблицы и комбинированные диаграммы подходят для отображения временных данных любого характера;

2) назначение визуализации:

- цель исследования (визуализации). Например, для анализа тенденций рекомендуется применять линейные или спиральные графики, а также картографические анимации и серии карт; для сравнения величин – гистограммы, диаграммы рассеяния, радиальные диаграммы, фигурные диаграммы, отдельные статические карты и картографические анимации; для демонстрации взаимосвязей – комбинированные диаграммы и 3D-визуализации. Для получения точных цифр, когда важна детализация, целесообразнее использовать таблицы. Для отображения изменений не только во времени, но и в пространстве применяются способы картографической визуализации;

- вид картографической продукции. Использование анимации или 3D-визуализации невозможно в картах, сериях карт и атласах. Остальные способы отображения информации о динамике объектов могут быть использованы в любых видах картографической продукции (карты/серии карт, атласы, ГИС-проект, веб-картографические сервисы).

Факторы первой группы вычисляются автоматически на основе анализа данных, факторы второй группы определяются вручную.

Каждому фактору, влияющему на выбор способа представления информации о динамике географических объектов, для дальнейшей работы по автоматизации процесса визуализации были присвоены определенные числовые коды (табл. 2).

Таблица 2. Кодирование факторов, влияющих на выбор способа представления информации о динамике географических объектов

Код	Группа факторов	Код	Фактор	Код	Значение
1	Структура (характеристика) данных	1.1	Количество интересующих характеристик	1.1.1	Одна
				1.1.2	Несколько
		1.2	Количество изменений за временной период	1.2.1	Менее трех изменений
				1.2.2	3 и более изменений
		1.3	Тип данных	1.3.1	Символьный
				1.3.2	Числовой
		1.4	Характер временных данных	1.4.1	Дискретные моменты времени
				1.4.2	Непрерывные временные ряды
				1.4.3	Циклическая зависимость
2	Назначение визуализации	2.1	Цель исследования (визуализации)	2.1.1	Анализ тенденций
				2.1.2	Сравнение величин
				2.1.3	Демонстрация взаимосвязей
				2.1.4	Демонстрация точных значений
				2.1.5	Отображение изменений в пространстве и времени
		2.2	Вид картографической продукции	2.2.1	Карта / серии карт
				2.2.2	Атлас
				2.2.3	ГИС-проект
				2.2.4	Веб-картографический сервис

В результате составлена матрица (табл. 3), в которой каждому выделенному фактору соответствуют оптимальные способы отображения информации о динамике объектов.

Таблица 3. Соответствие способов представления информации о динамике географических объектов структуре (характеристике) данных и назначению визуализации

Код фактора	Код подходящего способа представления информации о динамике географических объектов												
1.1.1	Д.1	Д.2	Д.3	Д.4	Д.5	Д.6	Т.1	К.1	К.2	К.3	К.4	К.5	
1.1.2	Д.7	Т.1	К.1	К.2	К.3								
1.2.1	Т.1	К.1	К.2	К.3	К.4	К.5							
1.2.2	Д.1	Д.2	Д.3	Д.4	Д.5	Д.6	Д.7	Т.1	К.1	К.2	К.3	К.4	К.5
1.3.1	Т.1												
1.3.2	Д.1	Д.2	Д.3	Д.4	Д.5	Д.6	Д.7	Т.1	К.1	К.2	К.3	К.4	К.5
1.4.1	Д.1	Д.2	Д.3	Д.5	Д.7	Т.1	К.1	К.2	К.3	К.4	К.5		
1.4.2	Д.4	Д.5	Д.7	Т.1	К.3	К.4	К.5						
1.4.3	Д.6	Д.7	Т.1	К.3									
2.1.1	Д.4	Д.6	К.2	К.3	К.4								
2.1.2	Д.1	Д.2	Д.3	Д.5	Т.1	К.1	К.2	К.5					
2.1.3	Д.7	Т.1	К.1	К.2	К.3								
2.1.4	Т.1												
2.1.5	К.1	К.2	К.3	К.4	К.5								
2.2.1	Д.1	Д.2	Д.3	Д.4	Д.5	Д.6	Д.7	Т.1	К.1	К.2	К.5	К.4	
2.2.2	Д.1	Д.2	Д.3	Д.4	Д.5	Д.6	Д.7	Т.1	К.1	К.2	К.5	К.4	
2.2.3	Д.1	Д.2	Д.3	Д.4	Д.5	Д.6	Д.7	Т.1	К.1	К.2	К.3	К.4	К.5
2.2.4	Д.1	Д.2	Д.3	Д.4	Д.5	Д.6	Д.7	Т.1	К.1	К.2	К.3	К.4	К.5

Автоматизированное определение совокупности предпочтительных способов отображения информации о динамике объектов осуществляется в соответствии с матрицей, представленной в табл. 4, где каждому способу соответствует порядок числовых кодов, соответствующих определенным факторам.

Таблица 4. Таблица автоматизированного подбора способа отображения информации о динамике географических объектов

Способ отображения информации о динамике географических объектов	Коды факторов					
	1. Структура (характеристика) данных				2. Назначение визуализации	
	1.1 Количество характеристик	1.2 Количество изменений за период	1.3 Тип данных	1.4 Характер временных данных	2.1 Цель исследования	2.2 Вид продукции
Д.1 Гистограмма	1.1.1	1.2.2	1.3.2	1.4.1	2.1.2	2.2.1–2.2.4
Д.2 Диаграмма рассеяния	1.1.1	1.2.2	1.3.2	1.4.1	2.1.2	2.2.1–2.2.4
Д.3 Фигурная диаграмма	1.1.1	1.2.2	1.3.2	1.4.1	2.1.2	2.2.1–2.2.4
Д.4 Линейный график	1.1.1	1.2.2	1.3.2	1.4.2	2.1.1	2.2.1–2.2.4
Д.5 Радиальная диаграмма	1.1.1	1.2.2	1.3.2	1.4.1 1.4.2	2.1.2	2.2.1–2.2.4
Д.6 Спиральный график	1.1.1	1.2.2	1.3.2	1.4.3	2.1.1	2.2.1–2.2.4
Д.7 Комбинированная диаграмма	1.1.2	1.2.2	1.3.2	1.4.1 1.4.2 1.4.3	2.1.3	2.2.1–2.2.4
Т.1 Таблица	1.1.1	1.2.1	1.3.1	1.4.1	2.1.2	2.2.1–2.2.4
	1.1.2	1.2.2	1.3.2	1.4.2 1.4.3	2.1.3 2.1.4	
К.1 Отдельная статическая карта	1.1.1	1.2.1	1.3.2	1.4.1	2.1.2	
	1.1.2	1.2.2			2.1.3 2.1.5	
К.2 Серия карт	1.1.1	1.2.1	1.3.2	1.4.1	2.1.1	2.2.1–2.2.4
	1.1.2	1.2.2			2.1.2 2.1.3 2.1.5	
К.3 Картографическая анимация	1.1.1	1.2.1	1.3.2	1.4.1 1.4.2 1.4.3	2.1.1	
	1.1.2	1.2.2			2.1.3 2.1.5	
К.4 3D-визуализация	1.1.1	1.2.1 1.2.2	1.3.2	1.4.1 1.4.2	2.1.1 2.1.5	2.2.1–2.2.4
К.5 Карта-анаморфоза	1.1.1	1.2.1 1.2.2	1.3.2	1.4.1 1.4.2	2.1.2 2.1.5	2.2.1–2.2.4

Рассмотрим процесс работы алгоритма по определению способов отображения информации о динамике объектов. Например, пользователя интересуют несколько характеристик, имеющих изменения (код 1.1.2), тогда в соответствии с матрицей предпочтительными способами отображения являются комбинированная диаграмма (Д.7), таблица (Т.1), отдельная статическая карта (К.1), серия карт (К.2) и картографическая анимация (К.3). Если допустить, что за указанное время характеристики менялись не больше двух раз (код 1.2.1), то комбинированная диаграмма не подходит. Примем, что данные являются числовыми (код 1.3.2) и непрерывными (код 1.4.2), это позволяет исключить отдельную статическую карту и серию карт. Далее, исходя из цели исследования, пользователь выбирает, например, сравнение величин (код 2.1.2), что способствует исключению из списка способов картографической анима-

ции, оставляя только таблицы (Т.1). Так как данный способ визуализации подходит для использования в любой картографической продукции, то дальнейшая фильтрация не производится. Если в результате всего процесса отбора осталось несколько подходящих способов отображения информации о динамике географических объектов, то пользователь производит итоговый выбор вручную.

Заключение

Рассмотренные подходы по формализации выбора способов представления информации о динамике географических объектов обеспечат корректное определение оптимальных способов визуализации из всего их многообразия. Разработанная технология минимизирует ручной труд за счет автоматизации процессов анализа данных и генерации спосо-

бов визуализации, адаптируя их выбор под специфику данных. Предложенный в исследовании подход, основанный на комплексном анализе структуры используемых данных и способа использования визуализации, обеспечивает адаптивность системы к различным сценариям работы с пространственно-временной информацией. Разработанная матрица соответствия способов визуализации

и выделенных факторов может быть расширена за счет включения дополнительных критериев. В дальнейшем на основе полученных результатов планируется разработать программное обеспечение для использования в ГИС-проектах и на веб-сервисах, расширяя возможности изучения пользователями пространственно-временных данных в различных сферах деятельности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Краак М.-Я., Ормелинг Ф. Картография: визуализация геопространственных данных; пер. В. С. Тикунов. М. : Научный мир, 2005. 325 с.
2. Придать значимость статистическим данным. Ч. 2. Руководство по представлению статистических данных. Женева : Организация Объединенных Наций, 2009. 61 с.
3. Klasen V., Bogucka E. P., Meng L., & Krisp J. M. How we see time – the evolution and current state of visualizations of temporal data. *International Journal of Cartography*, 9(2), 2023, pp. 392–409.
4. Kraak, M-J et al. *Mapping for a Sustainable World*. United Nations, 2020. 152 p.
5. Яу Н. Искусство визуализации в бизнесе. Как представить сложную информацию простыми образами ; пер. с англ. С. Кировой. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. 352 с.
6. Иванов А. Г., Булыгина О. А. Автоматизация процессов выбора способов изображения картографируемых объектов и явлений. *Геодезия и картография*. 2012. № 10. С. 27–32.
7. Женибекова А. Б. Формализация выбора способов отображения для элементов общегеографических и тематических карт в среде ГИС. Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр., Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.) Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. С. 169–174.
8. Крылов С. А., Фокин И. Е. Концептуальная модель формирования и визуализации справочной информации о пространственных объектах. *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*, 2021. Т. 65. № 5. С. 558–567. DOI 0.30533/0536-101X-2021-65-5-558-567.
9. Фокин И. Е. Разработка методик автоматизированного формирования и визуализации справочной информации о географических объектах на основе картографической базы данных : дис. ... канд. техн. н. Фокин Иван Евгеньевич. М., 2022. 196 с.
10. Иванов А. Г. Разработка методов и технологий автоматизации процессов комплексного проектирования и использования мелкомасштабных карт : дис. ... д-р техн. наук: 25.00.33. Иванов Анатолий Георгиевич. М. 2003, 339 с.
11. Дворников А. В., Афанасьев А. Н. Концептуальная структура пространственно-временных баз данных. Приложение к журналу «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка». Сборник статей по итогам научно-технической конференции, 2014. № 7-2. С. 142–245.
12. Langran G. Time in geographic information systems. *Geocarto International*, vol. 7(2), 1992, pp. 184–205.
13. Frank A. U., Campari I., and Formentini U. Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space. *Proceedings of International Conference GIS – From Space to Territory: Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning*. Pisa, Italy, September 1992. Pp. 21–23.
14. Аскаров Р. Р. Способы визуализации динамики изменений информации в картографической базе данных. *Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. Инновации в науке, образовании и производстве : материалы V Всероссийской науч.-практ. конф.*, 2024. С. 495–501. DOI 10.52565/9785911553449.

REFERENCES

1. Kraak, M-J., & Ormeling, F. (2005). *Kartografiya: vizualizatsiya geoprostranstvennykh dannykh* [Cartography: visualization of geospatial data]. (Tikunov V.S., Trans.) / Moscow: Nauchnyy mir. 325 p. [in Russian].
2. *Pridat' znachimost' statisticheskim dannym. Chast' 2. Rukovodstvo po predstavleniyu statisticheskikh dannykh* [Make statistical data significant. Part 2. A guide to presenting statistical data]. (2009). Geneva: United Nations. 61 p. [in Russian].

3. Klasen, V., Bogucka, E. P., Meng, L., & Krisp J. M. (2023). How we see time – the evolution and current state of visualizations of temporal data. *International Journal of Cartography*, 9(2), pp. 392–409.
4. Kraak, M-J et al. (2020). *Mapping for a Sustainable World*. United Nations. 152 p.
5. Yau N. (2013). *Iskusstvo vizualizatsii v biznese. Kak predstavit' slozhnuyu informatsiyu prostymi obrazami [The art of visualization in business. How to present complex information in simple images]*. (S. Kirova, Trans). Moscow: Mann, Ivanov and Ferber 352 p. [in Russian].
6. Ivanov, A. G., Bulygina, O. A. (2012). Selection procedures automation on presentation method of cartographic object and phenomena. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*, №10, pp. 27–32 [in Russian].
7. Zhenibekova, A. B. (2016). Formalization of the choice of the way of display of elements of all-geographical and thematic cards in the environment of GIS. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2016: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying]* (pp. 169–174). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
8. Krylov, S. A., Fokin, I. E. (2021). A conceptual model for the formation and visualization of reference information about spatial objects. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka [News of higher educational institutions. Geodesy and Aerial Photography]*, 65(5), pp. 558–567. DOI 0.30533/0536-101X-2021-65-5-558-567 [in Russian].
9. Fokin I. E. (2022). Razrabotka metodik avtomatizirovannogo formirovaniya i vizualizatsii spravochnoy informatsii o geograficheskikh ob'ektakh na osnove kartograficheskoy bazy dannykh [Development of methods for automated generation and visualization of reference information about geographical objects based on a cartographic database]. *Candidate's thesis*. Moscow 196 p. [in Russian].
10. Ivanov, A. G. (2003). Razrabotka metodov i tekhnologiy avtomatizatsii protsessov kompleksnogo proektirovaniya i ispol'zovaniya melkomasshtabnykh kart [Development of methods and technologies for automating the processes of integrated design and the use of small-scale maps]. *Doctor's thesis*. Moscow 339 p. [in Russian].
11. Dvornikov, A. V., Afanasyev, A. N. (2014). Conceptual structure of spatial and temporal databases. *Prilozhenie k zhurnalu Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka. Sbornik statey po itogam nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Supplement to the journal Izvestiya vuzov. Geodesy and aerial photography. Collection of articles on the results of the scientific and technical conference]*. No. 7-2, pp. 142–245 [in Russian].
12. Langran, G. (1992). Time in geographic information systems. *Geocarto International*, vol. 7(2), pp. 184–205.
13. Frank, A. U., Campari, I., and Formentini, U. (1992, September 21-23). Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space. *Proceedings of International Conference GIS - From Space to Territory: Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning*. Pisa, Italy. Pp 21–23.
14. Askarov, R. R. (2024). Methods for visualizing the dynamics of information changes in the cartographic database. *Geodeziya, kartografiya, geoinformatika i kadastry. Innovatsii v nauke, obrazovanii i proizvodstve: Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskaya konferentsiya [Geodesy, cartography, geoinformatics, and cadastre. Innovations in Science, education and production: Proceedings of the 5th All-Russian Scientific and Practical Conference]*, pp. 495–501. DOI 10.52565/9785911553449 [in Russian].

Об авторе

Ришат Ринатович Аскаров – аспирант кафедры картографии.

Сергей Анатольевич Крылов – кандидат технических наук, доцент кафедры картографии.

Author details

Rishat R. Askarov – Ph. D. Student, Department of Cartography.

Sergey A. Krylov – Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography.

Получено / Received 06.10.2025

Поступила после рецензирования / Revised 24.11.2025

Принята к публикации / Accepted 19.02.2026

Научно-практическая статья/Research article

УДК 528.93:004.9:332.33:528.44

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-72-83>

**Методика ведения цифровой дежурной топографической карты
с использованием информационного взаимодействия с ведомственными
земельно-информационными системами**

В. Г. Донковцев¹✉

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

e-mail: donkovtsev1999@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке методики ведения цифровой дежурной топографической карты на основе сведений Единой электронной картографической основы и информационного взаимодействия с ведомственными земельно-информационными системами. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения непрерывной актуализации картографической основы и согласованного использования отраслевых пространственных данных земельно-информационных систем. В рамках исследования предложена методика ведения цифровой дежурной топографической карты, включающая формирование классификатора, согласование систем координат (ГСК-2011, местных систем координат ведения Единого государственного реестра недвижимости (МСК ЕГРН), WGS-84) и переход от картографических масштабов к позиционной точности координат характерных точек. Рассмотрены также вопросы обеспечения согласованности данных и формирования профиля метаданных.

Ключевые слова: единая электронная картографическая основа, классификатор пространственных данных, профиль метаданных, ГСК-2011, среднеквадратическая погрешность

Для цитирования:

Донковцев В. Г. Методика ведения цифровой дежурной топографической карты с использованием информационного взаимодействия с ведомственными земельно-информационными системами. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 72–83. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-72-83>

Methodology for maintaining a digital duty topographic map by integrating with land information systems stems

V. G. Donkovtsev¹✉

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

e-mail: donkovtsev1999@mail.ru

Abstract. The article describes a methodology for maintaining a digital on-duty topographic map that leverages the unified electronic cartographic framework and information exchange with departmental land-information systems. The study addresses the critical need for continuous updating of the cartographic foundation and for coordinated use of sectoral spatial datasets held in land-information systems. The proposed methodology encompasses the design of a classifier, harmonization of coordinate reference systems (GSK-2011, local coordinate systems of the Unified State Register of Real Estate,

and WGS-84), and a procedure for transition cartographic scales into positional accuracy requirements for characteristic point coordinates. The mechanisms for ensuring data consistency and specifies a metadata profile to support interoperable data exchange are also examined in the article.

Keywords: unified electronic cartographic framework, spatial data classifier, metadata profile, GSK-2011, root mean square error

For citation:

Donkovtsev V. G. (2026). Methodology for maintaining a digital duty topographic map by integrating with land information systems stems. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 72–83. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-72-83>

Введение

Актуальность разработки методики ведения цифровой дежурной топографической карты (ЦДТК) обусловлена необходимостью своевременного обновления государственных топографических карт и единой электронной картографической основы (ЕЭКО) в условиях интенсивных изменений объектов местности [1, 2]. Современные подходы к топографическому мониторингу предусматривают постоянное отслеживание и фиксацию изменений на местности с использованием космических снимков и отраслевых пространственных данных. В этих целях предусмотрено ведение цифровой дежурной топографической карты – цифровой топографической карты в электронном виде, служащей документом для систематической отметки изменений местности, подлежащих учету и отображению (ГОСТ Р 71887–2024 «Геодезия и картография. Топографический мониторинг при обновлении цифровых (электронных) топографических карт и актуализации пространственных данных. Общие положения»).

В отечественной практике сформированы подходы и технологические решения топографического мониторинга, ориентированные на обновление цифровых топографических карт и актуализацию пространственных данных. Ряд современных публикаций описывают двухуровневую организацию мониторинга (обзорный и детальный), при которой изменения выявляются по разновременным материалам ДЗЗ и фиксируются на ЦДТК с формированием оригиналов изменений

и базы данных изменений объектов местности (БД ИОМ), используемых для оперативного обновления картографической продукции. Значимый вклад в развитие топографического мониторинга внесен публикациями Е. А. Бровко, Т. В. Верещаки, Р. Э. Софинова, включая работы, посвященные вопросам стандартизации топографического мониторинга [1, 3–5]. В данной статье основное внимание уделено регламентации интеграции отраслевых пространственных данных и их метаданных для ведения ЦДТК.

В качестве отраслевых пространственных данных исходя из состава государственных топографических карт и ЕЭКО следует рассматривать сведения ведомственных земельно-информационных систем (ЗИС) [6], которые также выступают поставщиками информации для Национальной системы пространственных данных (НСПД).

Вместе с тем сохраняется проблема несогласованности ведомственных данных ЗИС, проявляющаяся в расхождениях семантики и геометрии однотипных объектов, что требует унификации классификации и систем координат для обновления ЕЭКО [7, 8]. Взаимодействие при ведении ЦДТК предполагается осуществлять через единую цифровую платформу НСПД с государственными земельно-информационными системами, содержащими пространственные сведения об объектах местности, в частности с федеральными государственными информационными системами ведения единого государственного реестра недвижимости, лесного комплекса, водных ресурсов, государственных информационных систем

обеспечения градостроительной деятельности и др., сведения которых могут быть использованы для актуализации ЕЭКО [9].

Цель статьи: разработать методику ведения цифровой дежурной топографической карты на основе отраслевых пространственных данных НСПД, поступающих в рамках информационного взаимодействия с ведомственными ЗИС и дополняющих изменения, выявляемые по разновременным материалам ДЗЗ.

Научная новизна статьи состоит в разработке методики ведения ЦДТК на основе отраслевых пространственных данных НСПД и регламентированного взаимодействия с ведомственными ЗИС, включая разработку иерархического классификатора объектов ЦДТК и структуры профиля метаданных с интегральной оценкой пригодности отраслевых пространственных данных для актуализации ЕЭКО.

Методы и материалы

В соответствии с ГОСТ Р 71283–2024 сведения ЕЭКО должны предоставляться в СК-42, СК-95, ГСК-2011, МСК ЕГРН и WGS-84, тогда как в Постановлении Правительства РФ № 1240 от 24.11.2016 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы» закреплена ГСК-2011 как единственная государственная система координат для выполнения геодезических и картографических работ с 01.01.2021. Указанные положения не противоречат друг другу, поэтому в рамках исследования рассмотрены три системы координат, непосредственно используемые при работе с данными ЦДТК: ГСК-2011, МСК ЕГРН и WGS-84.

Сведения ЕГРН ведутся в МСК в пределах кадастровых округов, что обеспечивает удобство для локальных геодезических съемок [10], но требует преобразований при межрегиональной увязке вследствие отсутствия единого датума [11].

ГСК-2011, основанная на едином датуме, обеспечивает консистентность данных по

всей России и упрощает их интеграцию. Практика перехода к «гибридным» МСК показывает, что после уточнения относительно ГСК-2011 точность таких МСК остается на уровне исходных систем координат, тогда как ГСК-2011 исходно обеспечивает более высокую метрическую точность [12].

Согласно приказу Росреестра от 20.02.2024 № П/0031/24 «Об утверждении порядка подключения и (или) предоставления доступа к федеральной государственной географической информационной системе, обеспечивающей функционирование национальной системы пространственных данных», в качестве основных форматов векторных данных при информационном взаимодействии государственных геоинформационных систем с НСПД установлены GeoJSON и GML. При этом, как указано в ГОСТ Р 71283–2024 «Инфраструктура пространственных данных. Единая электронная картографическая основа. Форматы данных и системы координат», одним из основных форматов для хранения векторных сведений в ЕЭКО является GeoJSON, спецификация которого предписывает использование исключительно глобальной геоцентрической системы координат WGS-84.

Хранение данных возможно в различных системах координат, включая ГСК-2011, однако для веб-визуализации и тайлового представления предпочтительна WGS-84, поскольку публичные тайловые сервисы работают в проекции Web Mercator (EPSG:3857), производной от WGS-84.

С учетом ГОСТ Р 71283–2024 и ГОСТ Р 71887–2024 хранение данных ЦДТК и публикацию сведений ЦДТК целесообразно организовать по принципу функционального разделения. Данные в БД ИОМ следует вести в ГСК-2011 с предварительной конвертацией при загрузке для обеспечения метрологической точности. Публикацию сведений ЦДТК в составе ЕЭКО рекомендуется выполнять через модуль хранения сведений ЕЭКО после приведения данных к требуемой системе ко-

ординат и формату с предоставлением через картографические веб-сервисы.

Результаты и обсуждение

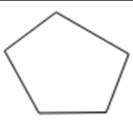
Классификатор пространственных данных ЦДТК. Формирование ЦДТК как ключевого инструмента топографического мониторинга и актуализации пространственных данных ЕЭКО предполагает сопоставление разнородных источников и приведение их к единой структуре цифровой картографической информации [13, 7]. Указанная задача решается на основе классификатора ЦДТК и единых правил идентификации, классификации и кодирования, обеспечивающих согласованность объектного состава и сопоставимость геометрических и семантических характеристик при сопоставлении сведений ЕЭКО и данных ведомственных ЗИС [9]. Поскольку ЦДТК представляет собой топографическую карту, наименования целевых объектов отображения формируются в терминах условных знаков топографической карты, тогда как сведения ЗИС выступают источником семантических критериев, определяющих отнесение объекта к тому или иному целевому объекту отображения [9].

Для разработки классификатора ЦДТК были использованы условные знаки топографических карт и планов, которые используются для ведения ЕЭКО, классификаторы ЗИС и нормативно-технические требования к системе классификации и кодирования пространственных данных НСПД (ГОСТ Р 70846.4–2023 «Национальная система пространственных данных. Система классификации и кодирования. Разработка и применение систем классификации и кодирования пространственных данных. Общие требования») как информационной системы, интегрирующей сведения ЗИС. В соответствии с требованиями стандарта система классификации пространственных данных в общем случае должна быть независимой от масштаба и источника, вместе

с тем при разработке классификатора ЦДТК учитываются особенности ведомственных данных ЗИС и условия их использования в задаче топографического мониторинга в части отраслевых пространственных данных. Для классификатора ЦДТК, разрабатываемого на основе ГОСТ Р 70846.4–2023, целесообразно использовать иерархический метод классификации, при этом каждый пространственный объект должен входить только в одну классификационную группировку нижнего уровня иерархии. Система кодирования ЦДТК реализована в виде фиксированного 9-значного кода в табл. 1, где старший разряд определяет тематику, согласованную с ЕЭКО и ведомственным источником данных; в работе приняты тематики: 1 – рельеф, 2 – гидрография и гидротехнические сооружения, 3 – промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты, 4 – границы, 5 – населенные пункты, 6 – дорожная сеть и дорожные сооружения, 7 – древесная и кустарниковая растительность, 8 – пашни. Второй иерархический уровень (разряды 2–3) предназначен для кодирования группы целевых объектов отображения внутри заданной тематики. Третий уровень (разряды 4–5) фиксирует тип объекта источника ЗИС, используемого для формирования соответствующего класса ЦДТК. Четвертый уровень (разряды 6–7) предназначен для кодирования определяющего признака объекта ЗИС для сопоставления с классом ЦДТК и задается атрибутом ЗИС и соответствующим значением. Пятый уровень (разряды 8–9) используется для ограничения интерпретации объекта ЗИС, который уточняет отображение объекта в ЦДТК.

В программном обеспечении классификатор ЦДТК может быть реализован как справочник объектов отображения и правил их отнесения по условным знакам ЕЭКО и атрибутам отраслевых пространственных данных, применяемый при автоматизированной интеграции и отборе пространственных данных для включения в ЦДТК.

Таблица 1. Пример фрагмента классификатора ЦДТК

Графическое изображение объекта	Код объекта	Название объекта	Характер локализации*	Наименование объекта
	701010100	Лес	Р	Лесотаксационный выдел (насаждение естественного происхождения)
	701010200	Лес	Р	Лесотаксационный выдел (лесные культуры)
	702010900	Кустарники	Р	Лесотаксационный выдел (земли, занятые кустарниками)
	703011000	Горелый и сухостойный лес	Р	Лесотаксационный выдел (гари)
	704011200	Бурелом	Р	Лесотаксационный выдел (ветровал, бурелом)
	705011300	Вырубленный лес	Р	Лесотаксационный выдел (вырубка)
	705020101	Вырубленный лес	Р	Лесосека («закрыта с заготовкой»), сплошная рубка
	404040000	Скотомогильники	Р	Земельный участок
	205020000	Трубопроводы	L	Сооружение
	405020000	Переходы и галереи для транспортеров надземные («воздушные») между зданиями	L	Сооружение

* Характер локализации: Р – площадной, L – линейный

Поскольку классификаторы ЗИС и классификатор картографической информации ЕЭКО построены на различных принципах (учетно-управленческом и картографическом), сопоставление не сводится к прямому перекодированию и требует выявления случаев отсутствия соответствий, множественных соответствий и различий в трактовке границ объектов. Практически это означает сопоставление условных знаков топографической карты ЕЭКО с объектами и атрибутами пространственных объектов ЗИС, систематизированными в отраслевых классификаторах, для выделения подмножества объектов ЗИС, используемых при ведении ЦДТК (табл. 2).

Таблица 2. Пример сопоставления условных знаков растительного покрова ЕЭКО с объектами и атрибутами ЗИС для ведения ЦДТК

Условный знак топографической карты ЕЭКО	Сведения ЗИС (объект, атрибут)	Значение атрибута объекта ЗИС	Характер соответствия условного знака и объекта ЗИС*
Леса	Лесотаксационный выдел. Атрибут «вид лесных земель»	– насаждение естественного происхождения; – лесные культуры; – культуры с культурами под пологом; – насаждение с примесью пород искусственного происхождения; – насаждение в стадии реконструкции; – насаждение из подроста; – насаждение, расстроенное рубками; – плантация лесных древесных пород	1:1
Кустарники	Лесотаксационный выдел. Атрибут «вид лесных земель»	Земли, занятые кустарниками	1:1
Вырубленные леса	Лесосека. Атрибут «статус» Лесотаксационный выдел. Атрибут «вид лесных земель»	Лесосека при статусе «закрыта с заготовкой»; вырубка	1:М только для сплошного вида рубки
Горелые и сухостойные леса	Лесотаксационный выдел. Атрибут «вид лесных земель»	Гари; погибшее лесное насаждение	1:1
Скотомогильники	Земельный участок. Атрибут «вид разрешенного использования»	Скотомогильники	1:1
Линии электропередачи на застроенной территории	Сооружение. Атрибут «назначение»	Линии электропередачи	1:1

* Характер соответствия условного знака и объекта ЗИС: 1:1 – один к одному, 1:М – один ко многим

Переход от масштаба к точности характеристик точек пространственных данных. Масштаб карты служит оценкой графической точности [14], однако в мультимасштабной цифровой среде он задается уровнями масштабирования и детализацией, тогда как пространственные данные характеризуются позиционной точностью. Поэтому при формировании ЦДТК ключевым параметром является позиционная точность данных, а уровни масштабирования и детализация выступают производными параметрами визуализации, ограниченными этой позиционной точностью

данных. Аналогичный подход применяется в зарубежной практике: позиционная точность рассматривается как элемент качества пространственных данных и отражается в метаданных. В США порядок оценки и отражения в метаданных позиционной точности регламентирован стандартом FGDC NSSDA (https://www.fgdc.gov/standards/projects/accuracy/part3/index_html), тогда как в Германии показатели позиционной точности обычно приводятся в метаданных наборов данных (https://www.adv-online.de/adv-produkte/Liegenschaftskataster/Abgabe/20220509_AdV_Metadate

nprofil_Version_1_2_1f357.pdf?imgUid=8878a4ac-aba5-8193-93b2-16067bef8a05&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111).

Указанное обстоятельство важно при интеграции сведений отраслевых пространственных данных в ЦДТК, поскольку они формируются в различное время и по неоднородным технологиям, что приводит к неоднородной позиционной точности, в том числе в пределах одного тематического слоя. Сведения ЕЭКО представлены неравномерно: при сплошном покрытии России масштабом 1 : 50 000 более крупные масштабы представлены фрагментарно, что должно учитываться при выборе допустимой детальности визуализации отраслевых пространственных данных.

В ЦДТК связь между уровнем масштабирования тайлового кэша и допуском графического представления, приведенным к метрам на местности, задается выражением

$$\varepsilon_j = m_0 \cdot M_j^{\text{ЕЭКО}},$$

где ε_j – допуск графического представления для уровня масштабирования j ; $M_j^{\text{ЕЭКО}}$ – знаменатель масштаба сведений ЕЭКО, представляемых на уровне j ; m_0 – средняя квадратическая погрешность картометрическим методом в масштабе для карт, планов ЕЭКО.

Поскольку набор уровней масштабирования j является дискретным, а крупные масштабы ЕЭКО доступны не на всей территории, масштаб исходного картографического материала $M_{\text{исх}}$ в ЦДТК аппроксимируется ближайшим уровнем масштабирования $j_{\text{опт}}(x)$, выбираемым с учетом фактического покрытия ЕЭКО:

$$j_{\text{опт}}(x) = \operatorname{argmin}_{j \in J(x)} \left| \ln M_j^{\text{ЕЭКО}} - \ln M_{\text{исх}} \right|,$$

где x – рассматриваемая территория; $J(x)$ – множество уровней масштабирования j , для которых на территории x доступны сведения ЕЭКО соответствующего масштаба $M_j^{\text{ЕЭКО}}$.

Данное правило означает, что выбирается уровень $j \in J(x)$, для которого масштаб

$M_j^{\text{ЕЭКО}}$ наиболее близок к $M_{\text{исх}}$. При этом $M_{\text{исх}}$ – знаменатель масштаба картографических материалов, использованных при создании соответствующих отраслевых сведений, и параметр, применяемый в ЦДТК для определения их позиционной точности σ при отсутствии σ в выгрузке.

Дальнейший выбор допустимой детальности визуального представления сведений отраслевых пространственных данных согласуется с их позиционной точностью σ по правилу

$$\sigma \leq \varepsilon_j,$$

если условие не выполняется, на уровне масштабирования j ограничивается визуальная детальность отображения сведений ЗИС, чтобы не формировать представление о более высокой точности пространственных данных, чем допускается качеством исходных сведений и масштабом сведений ЕЭКО. При этом ЦДТК не изменяет позиционную точность σ отраслевых пространственных данных.

Позиционная точность σ в ЦДТК задается числовым показателем, в том числе средней квадратической погрешностью (СКП) координат. При этом данные термины не тождественны: позиционная точность является характеристикой качества положения объекта, тогда как СКП представляет собой один из способов ее количественного выражения. В случаях, когда СКП (или иной числовой показатель σ) не указана в исходных данных соответствующей ЗИС, параметр σ в ЦДТК устанавливается по точности исходных картографических материалов или ортофотопланов, на основе которых сформированы эти сведения.

При наличии σ_i для отдельного объекта применяется правило $\sigma_i \leq \varepsilon_j$, что обеспечивает корректное совместное отображение однотипных объектов с различной точностью в пределах одного слоя. При отсутствии в выгрузках сведений ЗИС числового показателя σ параметр σ устанавливается для соответствующего вида сведений ЗИС в целом и задается по требованиям к точности исходных

материалов, зафиксированным в технических заданиях.

Методика ведения ЦДТК. Методика ведения ЦДТК описывает регламентированный цикл интеграции, проверки и интерпретации отраслевых пространственных данных, поступающих в НСПД из ведомственных ЗИС. В рамках данного подхода пространственные данные ЗИС используются как источник информации для количественной оценки изменений состояния местности и определения территорий, подлежащих обновлению. Включение отраслевых пространственных данных в процесс ведения ЦДТК обосновывается тем, что они обеспечивают учет сведений, содержащихся в ЗИС, и дополняют материалы ДЗЗ. При этом специфика отраслевых пространственных данных состоит в том, что они являются разнородными, разномасштабными и разновременными. Материалы ДЗЗ и отраслевые пространственные данные в методике ведения ЦДТК рассматриваются как взаимодополняющие источники информации для ведения БД ИОМ и ЦДТК.

Универсальность методики для любой ЗИС обеспечивается предварительным сопоставлением сведений ЕЭКО с наборами пространственных данных государственных ЗИС. На начальном этапе задается структура пространственного слоя ЦДТК по тематике выбранной ЗИС. Определяются состав отображаемых объектов, их атрибуты, характер геометрической локализации, а также устанавливаются правила включения объектов в ЦДТК.

Далее выполняется подключение ЕЭКО и загружается пространственное описание номенклатурных листов ЕЭКО с метаданными, включающими номенклатуру, масштаб и систему координат. Номенклатурный лист используется как основная единица планирования актуализации и последующего расчета показателей изменений. Для обеспечения временной согласованности используются ортофотопланы ЕЭКО, а при их отсутствии на рассматриваемую территорию применяются космические снимки высокого разрешения.

Интеграция пространственных данных выбранной ЗИС в ЦДТК выполняется с при-

ведением данных к формату GML и системе координат ГСК-2011. После этого проводится предварительная проверка качества данных ЗИС. Она включает топологический контроль пространственного описания, проверку согласованности значений атрибутов сведений ЗИС, используемых для сопоставления со сведениями ЕЭКО, а также проверку соблюдения требований к иерархии объектов ЗИС и правовых ограничений, установленных для соответствующей предметной области. Объекты, не прошедшие контроль, исключаются из дальнейшего использования при ведении ЦДТК.

Далее применяется временной критерий отбора объектов ЗИС для мониторинга актуальности сведений ЕЭКО. Для сведений отраслевых пространственных данных сопоставляется временная характеристика актуальности с датой ортофотоплана или космического снимка высокого разрешения на соответствующую территорию. При условии, что дата отраслевых сведений позднее даты материалов ДЗЗ, объекты рассматриваются как основание для определения территории обновления. При обратном соотношении и отсутствии сведений о временной характеристике отраслевых пространственных данных объекты исключаются из мониторинга актуальности по временному критерию.

Количественная оценка изменений состояния местности выполняется в пределах номенклатурного листа отдельно по площади для площадных объектов и по длине для линейных объектов. Далее рассчитываются относительные показатели и сводный процент изменений по листу как сумма частных показателей. Полученное значение сопоставляется с порогом изменения местности 50 % и более (Постановление Правительства РФ от 30.03.2024 № 400 «Об утверждении положения об обновлении государственных топографических карт и государственных топографических планов, а также масштабов, в которых они создаются»). При достижении этого порога номенклатурный лист топографической карты или плана включается в план актуализации.

Профиль ЦДТК. Профиль метаданных ЦДТК представляет собой специализирован-

ную систему описания пространственных данных, ориентированную на обеспечение межведомственной интеграции отраслевых сведений пространственных данных и их согласованного использования (ГОСТ Р 71887–2024 «Геодезия и картография. Топографический мониторинг при обновлении цифровых (электронных) топографических карт и актуализации пространственных данных. Общие положения») при ведении ЦДТК. В рамках работы определены принципы построения профиля метаданных ЦДТК: он основывается на структуре метаданных по ГОСТ Р 57668–2017 «Пространственные данные. Метаданные. Часть 1. Основные положения» и должен включать сведения о качестве данных в соответствии с ГОСТ Р 57773–2017 «Пространственные данные. Качество данных».

Ключевой особенностью профиля является включение механизмов количественной оценки и межведомственной сопоставимости данных, основанных на приведении частных характеристик качества к единому логическому представлению и последующем формировании интегральной оценки. Итоговая

оценка качества набора данных вычисляется по правилу взвешенной суммы частных показателей:

$$K = \sum_{i=1}^n W_i \cdot N_i,$$

где K – интегральная оценка качества набора данных; N_i – оценка i -й характеристики качества, принимающая значения в диапазоне $0 \leq N_i \leq 1$; W_i – весовой коэффициент i -й характеристики качества, задаваемый в диапазоне $0 \leq W_i \leq 1$ и $\sum_{i=1}^n W_i = 1$, n – количество характеристик качества, включенных в оценку.

Итоговый интегральный показатель позволит автоматически ранжировать наборы данных ЗИС по степени их пригодности для обновления ЦДТК.

Минимальный состав обязательных сведений профиля метаданных, необходимых для идентификации источника, проверки временной согласованности и документирования результатов контроля качества, приведен в табл. 3.

Таблица 3. Профиль метаданных ЦДТК

Раздел метаданных	Обязательные сведения	Назначение
Идентификация ресурса	Наименование земельно-информационной системы, условие доступа, поставщик	Однозначная идентификация источника
Сведения об актуальности сведений	Дата создания, дата съемки, дата обновления информации об объекте	Проверка разнородных пространственных данных
Система координат	Система координат набора пространственных данных	Приведение к ГСК-2011
Сведения о качестве	Результат контроля логической согласованности, дата проверки качества, результат проверки полноты атрибутов отраслевых пространственных данных, результаты проверки соответствия отраслевых данных условиям их использования для мониторинга актуальности при ведении ЦДТК	Проверка качества набора данных

Заключение

В результате исследования сформирована методическая основа ведения ЦДТК на основе отраслевых пространственных данных и обоснована необходимость регламентирован-

ного цикла интеграции, проверки и интерпретации сведений государственных ЗИС.

Разработана структура иерархического классификатора объектов ЦДТК на основе требований ГОСТ Р 70846.4–2023 и условных знаков топографических карт.

Обоснован выбор ГСК-2011 как основной системы координат хранения данных ЦДТК. Показано, что МСК ЕГРН применимы в локальных пределах кадастровых округов, а WGS-84 используется преимущественно для визуализации и веб-картографирования. Предложен переход от масштабной модели картографирования к подходу, основанному на позиционной точности координат характерных точек.

Предложенный профиль метаданных ЦДТК может обеспечить стандартизированное описание и оценку качества данных по ГОСТ Р 57773–2017 «Пространственные данные. Качество данных», включая применение

нормализованных показателей и расчет интегральной оценки пригодности, что повышает совместимость разнородных сведений и обосновывает их включение в ЦДТК.

Благодарности

Автор благодарит Центр коллективного пользования научным и технологическим оборудованием «Центр высокоточной навигации, позиционирования и систем сбора пространственных данных» МИИГАиК за оказание содействия при сборе данных для проведения исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бровко Е. А., Софинов Р. Э. Разработка проекта национального стандарта в области геодезии и картографии: топографический мониторинг для обновления цифровых (электронных) топографических карт и актуализации пространственных данных. Геодезия и картография. 2024. № 6. С. 21–30. DOI 10.22389/0016-7126-2024-1008-6-21-30.
2. Карпик А. П., Лисицкий Д. В., Мусихин И. А. Развитие геопространственной деятельности в России: стратегические направления и первоочередные задачи. Геодезия и картография. 2023. № 12. С. 49–58. DOI 10.22389/0016-7126-2023-1002-12-49-58.
3. Бровко Е. А. Актуализированные пространственные данные детального топографического мониторинга – основа оперативного обновления государственных цифровых топографических карт: методы и технологии. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, карто-графия, маркшейдерия». Новосибирск : СГУГиТ, 2022. С. 99–103.
4. Бровко Е. А., Верещака Т. В. Государственный топографический мониторинг: геопространственно-информационный потенциал и пути реализации. Геодезия и картография. 2020. Т. 81. № 3. С. 21–31. DOI 10.22389/0016-7126-2020-957-3-21-31.
5. Бровко Е. А., Софинов Р. Э. Актуализация пространственных данных методом государственного топографического мониторинга в целях реализации государственной программы Российской Федерации «Национальная система пространственных данных»: проблемы и решения. Геодезия и картография. 2022. № 3. С. 14–22. DOI 10.22389/0016-7126-2022-981-3-14-22.
6. Тарарин А. М., Камынина Н. Р. Земельно-информационные системы : учебное пособие. М. : МИИГАиК, 2023. 316 с.
7. Donkovtsev V., Tararin A. Unified Digital Basemap as a mechanism of digital transformation and improvement of data quality of Land Information System. FIG Working Week 2025, Brisbane, Australia, 06–10 апреля 2025 года. Brisbane, Australia, 2025. EDN RQJDCW.
8. Тарарин А. М., Тарарина Е. Г., Донковцев В. Г., Афанасьева О. Е., Киселева А. А. Национальная система пространственных данных: проблемы интеграции разнородных пространственных данных. Культура управления территорией: экономические и социальные аспекты, кадастр и геоинформатика : сборник научных трудов XIII Региональной научно-практической конференции с международным участием (21 ноября 2024 г.). Нижний Новгород : ННГАСУ, 2025. С. 113–117.
9. Тарарин А. М., Донковцев В. Г. Возможности использования пространственных данных земельно-информационных систем для обновления единой электронной картографической основы (на примере ЕГРН). Вестник СГУГиТ. 2025. Т. 30, № 2. С. 125–134. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-2-125-134.

10. Демьянов Г. В., Майоров А. Н., Побединский Г. Г. Местные системы координат, существующие проблемы и возможные пути их решения. *Геопрофи.* 2009. № 2. С. 52–57.
11. Обиденко В. И. Единое высокоточное гомогенное координатное пространство территорий и местные системы координат: пути гармонизации. *Вестник СГУГиТ.* 2020. Т. 25, №. 2. С. 46–62.
12. Котельников А. В., Обиденко В. И. Опыт практического применения «гибридных» местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011. *Вестник СГУГиТ.* 2025. Т. 30, №. 3. С. 15–30.
13. Karpik A. P., Lisitsky D. V., Osipov A. G., Savinykh V. N. Analysis and evaluation of the resource potential of a territory using the method of geocognitive modeling. *InterCarto. InterGIS.* 2022. Vol. 28, No. 1. P. 580–588. DOI 10.35595/2414-9179-2022-1-28-580-588. EDN BKSWM.
14. Швец С. В., Таран В. В. *Геодезия. Топографические карты : учебное пособие.* М. : МИИГАиК, 2015. 64 с.

REFERENCES

1. Brovko, E. A., Sofinov, R. E. (2024) Development of a draft national standard in the field of geodesy and cartography: topographic monitoring for updating digital (electronic) topographic maps and spatial data. *Geodezia i Kartografia [Geodesy and Cartography]* 85 (6), pp. 21–30 (In Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1008-6-21-30.
2. Karpik, A. P., Lisitskii, D. V., & Musikhin, I. A. (2023). Development of geospatial activities in Russia: strategic directions and priorities. *Geodezia i Kartografia [Geodesy and Cartography]*, 84(12), 49–58. DOI 10.22389/0016-7126-2023-1002-12-49-58 [in Russian].
3. Brovko, E. A. (2022). Updated spatial data of detailed topographic monitoring as a basis for prompt updating of state digital topographic maps: methods and technologies. *Interexpo GEO-Sibir' [Interexpo GEO-Siberia]*, 1, pp. 99–103 [in Russian].
4. Brovko E. A., Vereshchaka T. V. (2020) State topographic monitoring: geospatial-and-informational potential and ways of implementation. *Geodezia i Kartografia [Geodesy and Cartography]*, 81, 3, pp. 21–31. DOI 10.22389/0016-7126-2020-957-3-21-31 [in Russian].
5. Brovko E. A., Sofinov R. E. (2022) Updating spatial data by the method of state topographic monitoring for implementing the Russian Federation state program “National Spatial Data System”: tasks and solutions. *Geodezia i Kartografia [Geodesy and Cartography]*, 83 (3), pp. 14–22. DOI 10.22389/0016 7126-2022-981-3-14-22 [in Russian].
6. Tararin, A. M., & Kamynina, N. R. (2023). *Zemel'no-informatsionnye sistemy [Land information systems]*. Moscow: MIIGAiK, 316 p. [in Russian].
7. Donkovtsev, V., Tararin A. (2025) Unified Digital Basemap as a mechanism of digital transformation and improvement of data quality of Land Information. *FIG Working Week 2025, Brisbane, Australia, Brisbane, Australia, 2025.* EDN RQJDCW.
8. Tararin, A. M., Tararina, E. G., Donkovtsev, V. G., Afanasyeva, O. E., & Kiseleva, A. A. (2025). National spatial data system: problems of integrating heterogeneous spatial data. In *Sbornik nauchnykh trudov XIII Regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem: Kul'tura upravleniya territoriei: ekonomicheskie i sotsial'nye aspekty, kadastr i geoinformatika [Proceedings of the 13th Regional Scientific and Practical Conference with International Participation: Culture of territory management: economic and social aspects, cadastre and geoinformatics]* (pp. 113–117). Nizhny Novgorod: NNGASU Publ. [in Russian].
9. Tararin, A. M., & Donkovtsev, V. G. (2025). Possibilities of using spatial data from land information systems to update the unified electronic cartographic framework: the case of the Unified State Register of Real Estate. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 30(2), pp. 125–134. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-2-125-134 [in Russian].
10. Dem'ianov, G. V., Maiorov, A. N., & Pobedinskii, G. G. (2009). Local coordinate systems: existing problems and possible solutions. *Geoprofi [Geoprofi]*, No. 2, pp. 52–57 [in Russian].

11. Obidenko, V. I. (2020). Unified high-precision homogeneous coordinate space of territories and local coordinate systems: harmonization approaches. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), pp. 46–62 [in Russian].
12. Kotel'nikov, A. V., & Obidenko, V. I. (2025). Practical experience in applying “hybrid” local coordinate systems based on GSK-2011. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 30(3), pp. 15–30 [in Russian].
13. Karpik A. P., Lisitsky D. V., Osipov A. G., Savinykh V. N. (2022). Analysis and evaluation of the resource potential of a territory using the method of geocognitive modeling. *InterCarto. Inter-GIS [InterCarto. InterGIS]*. Vol. 28, No. 1. P. 580–588. DOI 10.35595/2414-9179-2022-1-28-580-588. EDN BKSWMMD.
14. Shvets, S. V., & Taran, V. V. (2015). *Geodeziia. Topograficheskie karty [Geodesy. Topographic maps]*. Moscow: MIIГАiK, 64 p. [in Russian].

Об авторах

Вадим Геннадьевич Донковцев – аспирант кафедры управления недвижимостью и развитием территорий.

Author details

Vadim G. Donkovtsev – PhD Student, Department of Real Estate Management and Territory Development.

Получено / Received 10.12.2025

Поступила после рецензирования / Revised 13.05.2026

Принята к публикации / Accepted 18.05.2026

Научно-практическая статья/Research article

УДК [528.013.4:528.952]+332.2

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-84-95>

Цифровые трехмерные модели: горизонты применения для кадастра недвижимости

Н. Р. Камынина¹✉, А. М. Портнов¹

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

e-mail: rector@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются прототипы геоинформационных систем, содержащих цифровые 3D-модели объектов кадастрового учета. Создание таких систем представляет собой единую междисциплинарную научно-прикладную задачу информационного моделирования географического пространства на стыке геоинформатики, картографии, геодезии и кадастра. Цифровые пространственные модели объектов недвижимости рассматриваются как селективная категория объектов с юридически значимыми характеристиками, зафиксированными в трехмерном формате. Проанализирован международный опыт трехмерного моделирования, включая программы Cadastre 2014, LADM, прототип 3D-кадастра Российской Федерации, первую 3D-регистрацию прав на недвижимость в Нидерландах и практики FIG, увязанные с российской нормативно-технической основой, а также обобщен в предложенной лестнице зрелости внедрения 3D-кадастра. Показано, что современные национальные стандарты по созданию трехмерных цифровых планов, топографическому мониторингу и цифровым пространственным моделям местности формируют технологическую основу 3D-кадастра, но сами по себе не создают категории юридически значимых сведений для объектов недвижимости. Исследование обосновывает необходимость формирования системы регистрации объема прав, ограничений и обязанностей на объекты кадастрового учета с использованием 3D-моделей только при доказанном пространственно-правовом дефиците их двумерного описания.

Ключевые слова: 3D-модели, 3D-кадастр, трехмерное картографирование, цифровой двойник, цифровые пространственные модели

Для цитирования:

Камынина Н. Р., Портнов А. М. Цифровые трехмерные модели: горизонты применения для кадастра недвижимости. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 84–95. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-84-95>

3D digital models in cadastre: applications and strategic outlook for property registration

N. R. Kamynina¹✉, A. M. Portnov¹

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

e-mail: rector@mail.ru

Abstract. The article investigates prototype GIS that integrate digital 3D models of cadastral objects. Developing such systems represents an interdisciplinary research problem of geographic space information modeling at the intersection of geoinformatics, cartography, geodesy, and cadastre. Digital

terrain models of real property are treated as a selective category of objects with legally significant attributes captured in a 3D representation. The study analyses international experience in 3D modeling, including the Cadastre 2014 programme, the ISO Land Administration Domain Model, the Russian Federation's 3D-cadastre prototype, the Netherlands' first 3D property rights registration, and FIG practices, and relates these developments to the Russian regulatory and technical framework. The authors offer a maturity ladder for 3D cadastre implementation. Findings indicate that current national standards for producing 3D digital plans, conducting topographic monitoring, and creating digital terrain models provide the necessary technological basis for a 3D cadastre but do not establish legally significant information for real estate objects. The study concludes that a system for registering the volumetric scope of rights, restrictions, and responsibilities on cadastral objects using 3D models should be introduced only when a spatial-legal deficiency in 2D descriptions exists.

Keywords: 3D models, 3D cadastre, 3D mapping, digital twin, digital spatial terrain models

For citation:

Kamynina N. R., Portnov A. M. (2026). 3D digital models in cadastre: applications and strategic outlook for property registration. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 84–95. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-84-95>

Введение

В последние годы тема использования цифровых пространственных (трехмерных) моделей для формирования прототипа системы кадастрового учета (далее – 3D-кадастр) в РФ вышла за рамки сугубо отраслевой. Она связана не только с регистрацией прав на объекты недвижимости и их части, но и с комплексными вопросами цифровизации и геомоделирования в картографии, инженерных изысканиях, градостроительстве и проектировании. Это подчеркивает многогранность применения цифровых трехмерных моделей и цифровых двойников местности для моделирования географического пространства.

Следует отметить, что кадастр недвижимости, с точки зрения определения пространственных характеристик объектов учета, в России исторически основывался на материалах топо- и картографической изученности местности: он стал реестром прав, определяемых пространственными характеристиками, а не универсальным планом местности. Поэтому сама постановка вопроса как «переход от 2D-кадастра к 3D-моделированию» недостаточна: требуется определить информационные связи и функции 3D-кадастра, а также установить, в ка-

ком месте комплексной геоинформационной среды появляется юридически значимое пространственное описание объема прав.

Главный тезис исследования заключается в том, что 3D-кадастр не должен рассматриваться как самостоятельная изолированная база данных. Он является юридически значимым результатом конвергенции технологий и данных геодезии, картографии, градостроительного регулирования, информационного моделирования, ГИС-анализа. При этом юридическая функция кадастра сохраняется, но реализуется на базе более сложной 3D-геоинформационной основы. Современная цифровая 3D-модель объекта недвижимости представляет собой не только визуальное отображение форм и размеров, но и цифровую многомерную среду, где один пространственный объект связывается с геометрией, высотой, атрибутами, правовым режимом, градостроительным регламентом, инженерной инфраструктурой и сценариями эксплуатации.

В этой логике 3D-кадастр нужен не для всей регистрируемой недвижимости, а только для тех правовых ситуаций, где двумерное описание не позволяет определить объем права, ограничения или обязанности. Для квартиры, индивидуального жилого дома либо земельного участка правовая

определенность чаще всего достигается существующими инструментами: площадью, этажностью, техническим планом, проектной документацией и т. п. Для подземных паркингов, тоннелей, эстакад, транспортно-пересадочных узлов и объектов, расположенных над или под чужими участками, 2D-описание может быть недостаточным.

Цель исследования – обосновать необходимость использования цифровых пространственных трехмерных моделей для кадастрового учета, а также определить условия, при которых 3D-кадастр не дублирует, а дополняет существующие информационные системы.

Задачи исследования:

1) разграничить функции 3D-моделей и 3D-кадастра;

2) сопоставить российские стандарты с международными подходами Land Administration Domain Model (LADM) и building information modeling (BIM), а также сформулированные International Federation of Surveyors (FIG);

3) предложить критерий отбора объектов кадастра недвижимости для использования 3D-моделирования;

4) сформулировать риски дублирования сведений между Единым государственным реестром недвижимости (ЕГРН), государственной информационной системой обеспечения градостроительной деятельности (ГИСОГД), технологиями информационного моделирования (ТИМ) и ведомственными географическими информационными системами (ГИС).

Материалы и методы

Нормативно-техническая часть исследования опирается на три группы источников. Во-первых, рассматриваются российские национальные стандарты: ГОСТ Р 70173–2022, ГОСТ Р 71887–2024 и ГОСТ Р 72262.1–2026, поскольку они описывают создание трехмерных цифровых планов, топографический мониторинг и цифровые пространственные трехмерные модели местно-

сти. Во-вторых, используются международные примеры моделей земельного администрирования и 3D-кадастра: Cadastre 2014, LADM ISO 19152, исследования Stoter, van Oosterom, Lemmen и других авторов [1–6]. В-третьих, учитываются работы по City Geography Markup Language (CityGML), так как 3D-кадастр фактически должен взаимодействовать с городскими моделями ТИМ [7–10].

Исследование включает выделение последовательности действий для применения и развития цифровых 3D-моделей кадастра недвижимости:

1) выделение функций 3D-моделирования для кадастра недвижимости;

2) сопоставление российских стандартов с задачами описания объектов в рамках использования цифровых 3D-моделей объектов для кадастра недвижимости;

3) анализ международного вектора развития от концепции и прототипов к селективной юридически значимой регистрации;

4) построение «лестницы зрелости» для внедрения 3D-кадастра;

5) определение рисков применения и развития 3D-моделирования для кадастра недвижимости, дублирования сведений между отраслевыми информационными системами.

Исследование выполнено с использованием методов сравнительного правового анализа, систематизации и формально-логического моделирования.

Результаты

Теоретические исследования возможного применения 3D-кадастра развиваются с начала 90-х гг. XX в. и связаны прежде всего с проблемой юридического описания многоуровневых объектов. Kaufmann J., Stoter рассматривали 3D-кадастр как ответ на неспособность классического 2D-кадастра однозначно описывать вертикально сложные объекты недвижимости [1, 2]. Van Oosterom связывал дальнейшее развитие 3D-кадастра с формализацией простран-

ственных единиц и их правового значения [3–5].

Модель LADM, закрепленная в ISO 19152, важна не тем, что сама по себе создает прототип 3D-кадастра, а тем, что разделяет участников, права, ограничения, обязанности и пространственные единицы. Lemmen, van Oosterom and Bennett [3] подчеркивали значение LADM как стандартизированного земельного администрирования. Важно, что модель охватывает компоненты земельного администрирования «below the surface, and above the ground» [3], т. е. ниже и выше поверхности земли. Российско-нидерландский прототип: в российско-нидерландском проекте 2011 г. прямо указано, что задача состояла в разработке прототипа и создании благоприятных правовых и институциональных условий внедрения 3D-кадастра в РФ на основе опыта Нидерландов и других стран [4], так как именно в Нидерландах была выполнена первая регистрация объекта по 3D-модели. Это показывает, что реальное внедрение начинается не с массового охвата, а со сложных случаев многоуровневых прав [5].

CityGML является стандартом Open Geospatial Consortium (OGC) для представления и обмена 3D-моделями городов; он описывает геометрию, семантику, топологию и уровни детализации городских объектов и рассматривается как основа для интеграции 3D-городских данных с геопространственными графами знаний и другими пространственными источниками. Однако CityGML – это не реестр прав, а модель городской среды. Исследования показывают, что интеграция BIM и CityGML остается сложной: Noardo et al. [10, 11] фиксируют проблемы стандартов программного обеспечения, геопривязки, семантики и практической совместимости; следовательно, массовый 3D-кадастр не может быть обоснован простой ссылкой на наличие BIM или

CityGML. Эти технологии создают основу данных, но не решают сами по себе юридический вопрос границ права. Для кадастра недвижимости основным теоретическим выводом является 3D-моделирование, которое имеет смысл только тогда, когда оно связано с возможностью пространственной идентификации прав, ограничений или обязанностей относительно владения, пользования или распоряжения объектом недвижимости.

FIG Best Practices 3D Cadastres: Международная федерация геодезистов (FIG) в 2018 г. обобщила лучшие практики; в публикациях [1, 12] указано, что деятельность по теоретическому формированию 3D-кадастра велась на протяжении двух десятилетий через рабочие группы, систематизировавшие правовые основы, технологии первичной регистрации 3D-объектов, информационное моделирование, 3D-СУБД, визуализацию и новые возможности 3D-моделирования.

Современный этап: Stoter, Но и Biljecki показывают, что 3D-кадастр должен учитывать не только технологию, но и организационные, правовые, экономические и межсистемные условия, «costs are easier to identify than the benefits» [7]. 3D-модели и цифровые двойники: опыт Нидерландов с 3DBAG (3D Basisregistratie Adressen en Gebouwen) показывает, что национальные 3D-модели могут создаваться массово: был применен ко всем 10,7 млн зданий Нидерландов, но их качество сильно зависело от исходных данных [8]. Впоследствии это послужило основанием для формирования тезиса, что кадастр движется от плоской карты к информационной системе прав и ограничений [1]. Диалектика развития международной повестки использования 3D-моделей представлена как этапы зрелости трехмерного кадастра недвижимости на рис. 1.

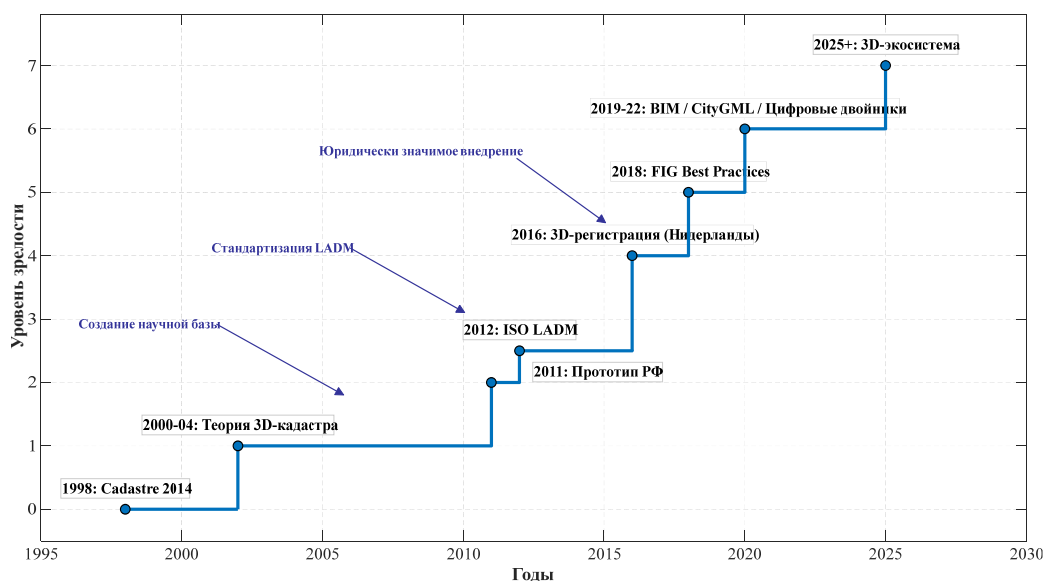


Рис. 1. Лестница зрелости внедрения 3D-моделей для кадастра недвижимости [1–8]

В российской практике текущая публичная повестка в большей степени связана с качеством сведений ЕГРН, границами, реестровыми ошибками, перепланировками, зонами с особыми условиями использования территорий и интеграцией пространственных данных. Перенос функциональности публичной кадастровой карты в контур Национальной системы пространственных данных показывает тренд на платформенную интеграцию пространственной информации, но не равен переходу к юридически значимому массовому 3D-кадастру. Законодательные изменения 2023–2024 гг. (в части перепланировок и внесения сведений в ЕГРН) направлены на повышение качества учета помещений. Это не отрицает потенциальной полезности 3D-описания для отдельных сложных объектов, но показывает, что для большинства случаев приоритетом остается точное 2D-поэтажное описание.

Однако в научной литературе можно часто встретить следующие положения, что 3D-кадастр:

- 1) эффективен для описания всей недвижимости;
- 2) геотехнологии дешевеют, 3D-кадастр тоже становится дешевым;
- 3) автоматически снизит споры, уточнит налоговую базу и инвестиционные риски;
- 4) заменит ТИМ, ГИСОГД и ведомственные ГИС.

В реальности очевидно, что для наиболее «массовых» объектов юридическая определенность чаще всего достигается существующими средствами: площадью, плановым контуром, этажностью, техническим планом, проектной документацией. На взгляд авторов, 3D-кадастр становится необходимым не из-за самой трехмерности объекта, а из-за юридического дефицита 2D-описания для устранения конкретных пространственно-правовых конфликтов подземных и надземных объектов, неопределенности распространения сервитутов, охранных зон и многоуровневых имущественных комплексов.

Стоимость внедрения системы 3D-кадастра нельзя оценивать только через цену съемки или хранения данных. За последние десятилетия технические средства получения 3D-данных (фотограмметрия, лазерное сканирование, облачная обработка) действительно стали доступнее. Однако в кадастровой системе главные затраты связаны не только с техникой. Юридическая проверка, ответственность за данные, актуализация, исправление ошибок, межсистемная интеграция и сопровождение жизненного цикла сведений остаются основными статьями издержек и они не исчезают с удешевлением съемки или хранения.

Утверждение о том, что 3D-кадастр автоматически снижает споры, ошибки налогооб-

ложения и инвестиционные риски, справедливо только при наличии правового эффекта в виде устранения пересечений объемов прав, неопределенностей сервитутов, охранных зон. Само по себе наличие 3D-модели не снижает количество спорных ситуаций, если модель не связана с реестровой записью и «ответственным» источником данных. Назначение 3D-кадастра – быть юридически значимым информационным слоем, связывающим 3D-геометрию с правом, ограничением или обязанностью. Если он копирует сведения из других информационных систем без единого идентификатора, статуса источника и правил синхронизации, он создает не определенность, а новые дубли.

3D-модель описывает пространственную структуру территории или объекта: геометрию, высоту, взаимное положение, семантику, атрибуты и связи. Она может использоваться для визуализации, пространственного анализа, градостроительного планирования, мониторинга, эксплуатации объектов, оценки рисков и создания цифрового двойника территории. 3D-кадастр имеет более узкое назначение: он должен отвечать на вопрос, какой именно пространственный объем является объектом права, ограничения или обязанности.

Следовательно, не всякая 3D-модель становится полезной для кадастра недвижимости. Трехмерная модель здания, квартала или транспортного узла может быть технически точной, но не иметь правового значения. И наоборот, 3D-описание прав может быть сравнительно ограниченным по детализации, но юридически значимым, если оно однозначно определяет границы объема права и связано с записью в реестре.

Практический результат 3D-моделирования должен состоять не в создании красивой визуальной модели, а в появлении проверяемого набора пространственных данных: координатно-высотной основы, объектного состава, топологических связей, атрибутов, метаданных точности, источников данных, правил обновления и идентификаторов, связывающих модель с другими информационными системами. Только на такой основе возможно формирование информационного слоя 3D-кадастра.

Современные национальные стандарты предназначены не для описания одного изолированного объекта, а для описания технологической цепочки создания и использования 3D-пространственных данных. Сравнительный анализ их функциональной роли представлен в табл. 1.

Таблица 1. Функциональная роль национальных стандартов в развитии 3D-моделей и 3D-кадастра

Нормативная основа	Основное назначение	Итоговый результат для 3D-моделей	Значение для 3D-кадастра
ГОСТ Р 70173–2022	Трехмерные цифровые планы населенных пунктов масштаба 1 : 500	Создание детальной 3D-картографической основы территории с объектами, высотами, атрибутами и заданной точностью	Дает базовую геометрию и картографическую основу, но не заменяет регистрацию прав
ГОСТ Р 71887–2024	Топографический мониторинг при обновлении цифровых карт и актуализации пространственных данных	Регулярное выявление изменений, обновление и контроль актуальности пространственных данных	Показывает, что 3D-кадастр невозможен без жизненного цикла данных и процедур актуализации
ГОСТ Р 72262.1–2026, ГОСТ Р 72262.2–2026	Цифровые пространственные трехмерные модели местности	Формирование цифровой пространственной модели местности как многослойной 3D-информационной среды	Создает основу для связи объема прав с цифровой моделью территории

Из сведений таблицы следует, что в соответствии с тремя ГОСТ можно сформировать:

- а) детальный трехмерный цифровой план территории;
- б) регламентированную систему мониторинга изменений;

в) цифровую пространственную модель местности, пригодную для межведомственного использования.

Однако юридически значимый 3D-кадастр появляется только после добавления к этой

основе правового слоя: объектов права, ограничений, сервитутов, зон, обязанностей, сведений о правообладателях и процедур государственной регистрации. Поэтому корректная итоговая цель состоит не в том, чтобы «перевести весь кадастр в 3D», а в том, чтобы создать технологически совместимую 3D-геоинформационную основу, на базе которой интегрируются сведения кадастра недвижимости, градостроительные, инфраструктурные и эксплуатационные слои без повторного сбора и дублирования одних и тех же сведений. Юридическая роль является необходимым, но не единственным смыслом 3D-кадастра. Если 3D-кадастр будет встроен в геоинформационную среду, он даст дополнительный аналитический эффект.

Таким образом, эффект от использования 3D-кадастра состоит не в визуализации, а в расширении возможности геоинформационного анализа пространственных данных, моделирования пространственных явлений, объектов, процессов, отношений и систем, а также возможности выявлять пространственные конфликты, оценивать пересечения объектов в $X/Y/Z$, моделировать доступность, проверять соответствие проектных решений и ограничений.

За последние 30 лет кадастр во многом развивался как самостоятельная регистрационно-учетная система. Топографический план, землеустройство, градостроительная документация, техническая инвентаризация, инженерные изыскания, проектирование и эксплуатационные ГИС существовали рядом, но не всегда образовывали единую систему представления данных и информации (например, существуют разные требования к точности координатного описания объектов инженерных изысканий и кадастровых работ). Геодезия обеспечивает координатно-высотную достоверность; картография и 3D-моделирование формируют объектную модель местности; ГИС обеспечивает пространственный анализ и межслойные связи; ТИМ передает проектно-строительную детализацию; ГИСОГД обеспечивает градостроительный и платформенный контекст; ЕГРН придает сведениям юридическое значение. Отрыв или несоответствие правил и стандартов хотя бы одного элемента делает систему неполной:

без геодезии нет точности, без ГИС нет анализа, без кадастра нет права, без мониторинга нет актуальности. Именно поэтому 3D-кадастр невозможно рассматривать как прямую гармонизацию сведений нескольких отраслей в одной информационной системе. В этой логике 3D-кадастр является не отдельным «трехмерным реестром ради реестра» (табл. 2), а правовым модулем единой геоинформационной модели территории.

Таблица 2. Межотраслевая природа 3D-кадастра как результата конвергенции цифровых пространственных систем

Отрасль / система	Роль в 3D-модели	Роль в 3D-кадастре
Геодезия	Координатно-высотная основа, точность, методы измерений	Достоверность границ 3D-объема права
Картография	3D-план, объектный состав, отображение и генерализация	Картографическая основа кадастра недвижимости
ГИС	Пространственный анализ, пересечения, сценарии, мониторинг	Проверка конфликтов прав, ограничений и объектов
ТИМ	Детальная проектная и строительная модель	Источник геометрии при условии проверки и нормализации
ГИСОГД	Градостроительные и платформенные пространственные данные	Контекст для ограничений, зон и регламентов
ЕГРН	Юридически значимые сведения об объектах и правах	Регистрация 3D-объема права, ограничения и обязанности

Принципиальное условие развития 3D-кадастра – отсутствие процессов дублирования сведений в разных информационных системах. Если один и тот же объект повторно создается в ЕГРН, ГИСОГД, цифровом двойнике и ведомственной ГИС без единого идентификатора, правил синхронизации и указания системы-источника, 3D-кадастр становится не инструментом повышения определенности, а источником новых противоречий.

С точки зрения геоинформатики, разделение ролей (см. табл. 2) соответствует классическим функциям: сбор и обработка пространственных данных, их анализ и моделирование, визуализация, а также управление данными в рамках распределенной инфраструктуры.

Для целей кадастра ключевым становится не просто создание трехмерной геометрической модели, а ее связь с семантикой и правовыми атрибутами через картографические методы анализа пространственных явлений и процессов. Именно такой подход позволяет перейти к юридически значимой системе регистрации объемов прав.

Поэтому 3D-кадастр возможен только как система ссылок, статусов и юридически значимых атрибутов, а не как полная копия всех 3D-данных. Геометрия может формироваться на базе трехмерной цифровой модели местности; сведения о праве должны храниться в реестровом контуре; градостроительные огра-

ничения – в соответствующих системах; инженерные данные – в ведомственных ГИС. Задача 3D-кадастра – связать эти сведения через идентификаторы и юридически значимые границы, а не размножить их.

Ключевой принцип можно сформулировать так: один объект – один ответственный источник данных – много разрешенных способов использования.

Тогда 3D-кадастр становится механизмом согласования, а не еще одним изолированным слоем. На рис. 2 предложены четыре горизонта развития 3D-кадастра в Российской Федерации, основанные на анализе лестницы зрелости (см. рис. 1), российско-нидерландского проекта (2010–2012 гг.), а также стандартных циклах пересмотра международных стандартов (6–10 лет). Каждый горизонт характеризуется целевыми результатами, ограничениями и условиями перехода к следующему этапу.

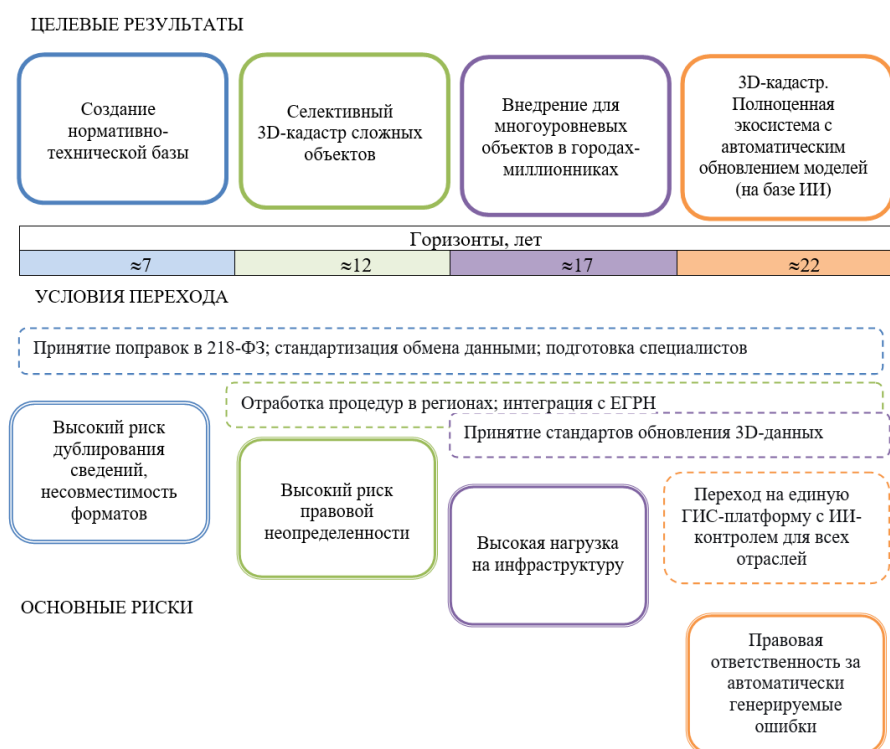


Рис. 2. Горизонты применения цифровых 3D-моделей для кадастра недвижимости в РФ (целевые результаты, прогнозные периоды, условия перехода и основные риски)

Горизонт ~7 лет (2026–2033): отражает типичный цикл, необходимый для формирова-

ния полноценной нормативно-технической базы под новую технологию, что согласуется

с циклами пересмотра стандартов. Принятие поправок в 218-ФЗ, стандартизация обмена данными, подготовка специалистов.

Горизонт ~12 лет (2033–2038): базируется на результатах активных исследований, опыт с ~2011 г. до появления первых полноценно функционирующих систем к ~2019 г. Сопряжение НСПД, ГИСОГД и ведомственных ГИС; принятие стандартов обновления 3D-данных.

Горизонт ~17 лет (2038–2043) предполагает массовое внедрение 3D-кадастра для многоуровневых объектов в городах-миллионниках. Ключевые риски – неравномерная цифровая зрелость специалистов, сопряжение НСПД, ГИСОГД и ведомственных ГИС.

Горизонт ~22 года (2043–2048): ожидается кумулятивный эффект. Ориентиром служит общая продолжительность эволюции 3D-кадастра в мировом масштабе: от первых концептуальных обсуждений в конце 1990-х – начале 2000-х гг. до создания «зрелых» информационных систем (20–25-летний цикл). Переход на единую платформу с ИИ-контролем; внедрение механизмов страхования рисков.

Для оценки необходимости 3D-кадастра (N_{3D}) можно предложить следующий формальный критерий:

$$N_{3D} = J + G - O - D - C,$$

где N_{3D} – коэффициент целесообразности формирования 3D-модели объекта кадастрового учета;

J – юридическая необходимость описания объема права;

G – информационный эффект от 3D-анализа;

O – обеспеченность задачи другими системами;

D – риск дублирования сведений;

C – индикатор высоких затрат.

Показатели формулы предлагается оценивать по бинарной шкале (0 или 1), где 1 соответствует наличию признака, 0 – его отсутствию. Такая дискретная оценка позволяет использовать формулу как логический экспресс-фильтр для объектов, потенциально требующих 3D-описания. Если N_{3D} имеет

положительное значение, создание 3D-кадастрового слоя может быть оправдано: 2D-описание не решает задачу, ГИС-эффект значим, а риски дублирования и стоимость контролируемы. Если значение N_{3D} отрицательно, проект, скорее всего, дублирует уже существующие сведения и повышает стоимость учета без сопоставимого правового результата. Формула не заменяет технико-экономическое обоснование, но задает логическую рамку для отбора случаев, где 3D-модель действительно нужна. Она позволяет разделить объекты с реальным пространственно-правовым дефицитом от ситуаций, где достаточно повышения качества 2D-данных, устранения реестровых ошибок и межсистемной синхронизации.

Такой подход согласуется с международным опытом: практические примеры 3D-регистрации начинались со сложных многоуровневых объектов, а не с универсального перевода всей недвижимости в 3D [11, 12]. Он также согласуется с отраслевой проблемой дублирования сведений: 3D-кадастр должен быть правовым модулем общей геоинформационной среды, а не еще одной самостоятельной копией данных [13].

Обсуждение

Главным методологическим преувеличением популярной трактовки 3D-кадастра является необходимость интеграции сведений ЕГРН, ТИМ, ГИСОГД и трехмерных картографических моделей. 3D-кадастр не должен и не способен заменять существующие отраслевые системы учета [7], которые должны взаимодействовать, но не заменять друг друга.

ТИМ содержит проектно-строительную детализацию и может использоваться как источник геометрии и атрибутов объекта капитального строительства, однако после проверки и нормализации эти сведения должны быть связаны с кадастровым учетом, а не механически перенесены в реестр как готовый правовой объект [14]. Трехмерная модель генерального плана или объекта недвижимости решает технологическую задачу получения и обработки пространственных данных, но

сама по себе не создает запись о праве, ограничении или обязанности [15]. Сведения ЕГРН имеют самостоятельный управленческий и правовой смысл: его достоверность зависит от процедур сбора, обработки, проверки и обновления сведений, а не только от визуальной формы представления объекта [16].

Именно поэтому 3D-кадастр должен занимать специальную правовую нишу: он нужен там, где обычное 2D-описание, технический план, проектная документация и существующие ГИС не позволяют определить пространственный объем права. Если задача решается существующими средствами, создание отдельной 3D-модели объекта будет избыточным; если же объект имеет подземные, надземные или многоуровневые пересечения, 3D-описание становится способом юридической определенности.

В контексте создания цифрового двойника для управления процессами в рамках концепции «умного города» 3D-кадастр следует рассматривать как один из модулей общей единой информационной экосистемы, где правовой слой взаимодействует с городскими, инженерными, проектными и эксплуатационными данными [17]. Практическое значение тезисов работы заключается в том, что нет необходимости расширять 3D-кадастр формально, необходимо отбирать объекты по критериям пространственно-правового дефицита, риска дублирования, качества данных и межсистемной совместимости.

Заключение

3D-модели и 3D-кадастр следует рассматривать как связанные, но не тождественные явления. 3D-модель отвечает за цифровое пространственное представление территории, объектов, связей и изменений. 3D-кадастр отвечает за юридически значимое описание объема права, ограничения или обязан-

ности. Поэтому развитие трехмерного картографирования создает основу для кадастра, но не заменяет кадастрового учета. Таким образом, проведенное исследование вносит вклад в развитие геоинформатики в рамках информационного моделирования географического пространства для решения задач кадастра недвижимости.

Анализ национальных стандартов показывает, что в России формируется нормативно-техническая база для создания 3D-моделей объектов, мониторинга пространственных данных и цифровых пространственных моделей местности. Практический результат этой базы – не обязательный массовый 3D-кадастр, а многомерная пространственная среда, в которой кадастровый слой должен реализовываться селективно.

Международный опыт показывает последовательную траекторию зрелости: концепция и стандарты, прототипы, выборочное юридическое внедрение, интеграция с 3D-моделями и цифровыми двойниками. Для России рациональная стратегия состоит в том, чтобы использовать этот опыт как матрицу условий перехода от 3D-картографической основы к правовой 3D-экосистеме.

3D-кадастр можно понимать как результат конвергенции геодезии, картографии, ГИС, кадастра, градостроительства, ТИМ и права в единую цифровую пространственно-правовую систему. Но такое сочетание будет продуктивным только при соблюдении принципа уникальности сведений.

Наиболее рациональная стратегия – начинать не с массового описания всей недвижимости в 3D, а с объектов, где 2D действительно не способно полностью описать предмет права. Для остальных объектов приоритетом остается повышение качества 2D-данных, согласованность границ, исправление реестровых ошибок и интеграция существующих информационных систем на платформе НСПД.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kaufmann J., Steudler D. Cadastre 2014: A Vision for a Future Cadastral System. FIG Commission 7, 1998.
2. Stoter J. 3D Cadastre. Netherlands Geodetic Commission, 2004.

3. Lemmen C., van Oosterom P., Bennett R. The Land Administration Domain Model. *Land Use Policy*. 2015. Vol. 49. P. 535–545.
4. Vandysheva N., Ivanov A., Pakhomov S., Spiering B., Stoter J., Zlatanova S., van Oosterom P. Design of the 3D Cadastre Model and Development of the Prototype in the Russian Federation. 2nd International Workshop on 3D Cadastres. Delft, 2011.
5. Van Oosterom P. Research and development in 3D cadastres. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2013. Vol. 40. P. 1–6.
6. Williamson I., Enemark S., Wallace J., Rajabifard A. *Land Administration for Sustainable Development*. ESRI Press, 2010.
7. Stoter J., Ho S., Biljecki F. Considerations for a Contemporary 3D Cadastre for Our Times. *ISPRS Archives*. 2019. Vol. XLII-4/W15. P. 81–88.
8. Ledoux H., Arroyo Ohori K., Kumar K., Dukai B., Labetski A., Vitalis S. CityJSON: A compact and easy-to-use encoding of the CityGML data model. *Open Geospatial Data, Software and Standards*. 2019. Vol. 4. Article 4.
9. Peters R., Dukai B., Vitalis S., van Liempt J., Stoter J. Automated 3D reconstruction of LoD2 and LoD1 models for all 10 million buildings of the Netherlands. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2022. Vol. 88, No. 3. P. 165–170.
10. Noardo F., Krijnen T., Arroyo Ohori K., Biljecki F., Ellul C., Harrie L., Stoter J. Reference study of IFC software support: The GeoBIM benchmark 2019. Part I. 2020. arXiv:2007.10951.
11. Noardo F., Arroyo Ohori K., Biljecki F., Ellul C., Harrie L., Krijnen T., Stoter J. Reference study of CityGML software support: The GeoBIM benchmark 2019 Part II. 2020. arXiv:2007.10938.
12. Stoter J., Ploeger H., Roes R., van der Riet E., Biljecki F., Ledoux H., Kok D., Kim S. Registration of Multi-Level Property Rights in 3D in The Netherlands: Two Cases and Next Steps in Further Implementation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2017. Vol. 6, No. 6. Article 158.
13. Болдырев В. А., Сварчевский К. Г., Клепалова Ю. И. Трехмерный кадастр недвижимости: риски, связанные с цифровыми инновациями. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Право*. 2024. Т. 15. Вып. 1. С. 275–293.
14. Несипбаев А. С., Москвин В. Н. Связь технологии информационного моделирования и кадастрового учета при работе с объектами капитального строительства. *Вестник СГУГиТ*. 2024. Т. 29, № 6. С. 143–153. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-143-153.
15. Брылев И. С., Бударова В. А., Елисеева Н. С. Опыт подготовки пространственных данных для решения задач трехмерного моделирования объектов недвижимости. *Вестник СГУГиТ*. 2024. Т. 29, № 3. С. 145–156. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-145-156.
16. Гура Д. А. Анализ эффективности современных измерительных технологий для трехмерной идентификации объектов недвижимости. *Вестник СГУГиТ*. 2025. Т. 30, № 3. С. 132–142. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-132-142.
17. Чернов А. В., Горобцов С. Р., Алтынцев М. А., Харазян А. А., Гоголев Д. В. Анализ методов получения и обработки данных для формирования 3D-модели генерального плана объекта недвижимости. *Геодезия и картография*. 2024. № 4. С. 30–40. DOI 10.22389/0016-7126-2024-1006-4-30-40.

REFERENCES

1. Kaufmann J., Steudler D. (1998). Cadastre 2014: A Vision for a Future Cadastral System. *FIG Commission 7*, 1998.
2. Stoter J. (2004). 3D Cadastre. Netherlands Geodetic Commission.
3. Lemmen C., van Oosterom P., Bennett R. (2015). The Land Administration Domain Model. *Land Use Policy*. Vol. 49. P. 535–545.
4. Vandysheva N., Ivanov A., Pakhomov S., Spiering B., Stoter J., Zlatanova S., van Oosterom P. (2011). Design of the 3D Cadastre Model and Development of the Prototype in the Russian Federation. *2nd International Workshop on 3D Cadastres*. Delft.

5. van Oosterom P. (2013). Research and development in 3D cadastres. *Computers, Environment and Urban Systems*. Vol. 40. P. 1–6.
6. Williamson I., Enemark S., Wallace J., Rajabifard A. (2010). Land Administration for Sustainable Development. *ESRI Press*.
7. Stoter J., Ho S., Biljecki F. (2019). Considerations for a Contemporary 3D Cadastre for Our Times. *ISPRS Archives*. Vol. XLII-4/W15. P. 81–88.
8. Ledoux H., Arroyo Ohori K., Kumar K., Dukai B., Labetski A., Vitalis S. (2019). CityJSON: A compact and easy-to-use encoding of the CityGML data model. *Open Geospatial Data, Software and Standards*. Vol. 4. Article 4.
9. Peters R., Dukai B., Vitalis S., van Liempt J., Stoter J. (2022). Automated 3D reconstruction of LoD2 and LoD1 models for all 10 million buildings of the Netherlands. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 88, No. 3. P. 165–170.
10. Noardo F., Krijnen T., Arroyo Ohori K., Biljecki F., Ellul C., Harrie L., Stoter J. (2020). Reference study of IFC software support: *The GeoBIM benchmark 2019* Part I. arXiv:2007.10951.
11. Noardo F., Arroyo Ohori K., Biljecki F., Ellul C., Harrie L., Krijnen T., Stoter J. (2020). Reference study of CityGML software support: *The GeoBIM benchmark 2019* – Part II. arXiv:2007.10938.
12. Stoter J., Ploeger H., Roes R., van der Riet E., Biljecki F., Ledoux H., Kok D., Kim S. (2017). Registration of Multi-Level Property Rights in 3D in The Netherlands: Two Cases and Next Steps in Further Implementation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. Vol. 6, No. 6. Article 158.
13. Boldyrev V. A., Svarchevskiy K. G., Klepalova Yu. I. (2024). Trekhmernyy kadastr nedvizhimosti: riski, svyazannyye s tsifrovymi innovatsiyami. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Pravo. [Bulletin of St. Petersburg University. Right.]* T. 15. Vyp. 1. S. 275–293.
14. Nesipbaev A. S., Moskvina V. N. (2024). Svyaz' tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya i kadastravogo ucheta pri rabote s ob'yektami kapital'nogo stroitel'stva. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. T. 29, No. 6. S. 143–153. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-143-153.
15. Brylev I. S., Budarova V. A., Eliseeva N. S. (2024). Opyt podgotovki prostranstvennykh dannykh dlya resheniya zadach trekhmernogo modelirovaniya ob'yektov nedvizhimosti *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. T. 29, No. 3. S. 145–156. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-145-156.
16. Gura D. A. (2025). Analiz effektivnosti sovremennykh izmeritel'nykh tekhnologiy dlya trekhmernoy identifikatsii ob'yektov nedvizhimosti *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. T. 30, No. 3. S. 132–142. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-132-142.
17. Chernov A. V., Gorobtsov S. R., Altyntsev M. A., Kharazyan A. A., Gogolev D. V. (2024). Analiz metodov polucheniya i obrabotki dannykh dlya formirovaniya 3D-modeli general'nogo plana ob'yekta nedvizhimosti. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*. No. 4. S. 30–40. DOI 10.22389/0016-7126-2024-1006-4-30-40.

Об авторах

Надежда Ростиславовна Камынина – доктор экономических наук, профессор, ректор.

Алексей Михайлович Портнов – кандидат технических наук, доцент кафедры права и государственной регистрации недвижимости.

Author details

Nadezhda R. Kamynina – D. Sc., Professor, Rector.

Aleksei M. Portnov – Ph. D., Associate Professor, Department of Law and State Registration of Real Estate.

Получено / Received 18.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised 07.05.2026

Принята к публикации / Accepted 14.05.2026

Научно-практическая статья/Research article

УДК 528.9:553.98:528.8:550.834

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-96-107>

Картографическое обеспечение оценки перспектив нефтегазоносности по данным дистанционного зондирования Земли и морских сейсморазведочных работ

Д. С. Логинов^{1,2✉}, В. В. Беленко¹, Н. И. Баранова^{1,3}

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

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

³ Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт,
г. Москва, Российская Федерация

e-mail: loginov@geohorizon.ru

Аннотация. Статья посвящена методическим вопросам картографического обеспечения оценки перспектив нахождения углеводородных ресурсов в морских осадочных бассейнах с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса и других пространственных данных. На примере восточной и западной части Андаманского глубоководного бассейна охарактеризован выбор мультиспектральных изображений с учетом метеорологических условий акватории исследования. Рассмотрены вопросы дешифрирования и картографического моделирования пространственного положения нефтепроявлений. Предложен и апробирован метод анализа происхождения нефтяных пятен по данным морской сейсморазведки, картографическим геосервисам морского судоходства, сейсмотектоническим картам и батиметрическим данным открытого доступа. В результате системного картографического обеспечения анализа получены картографические материалы и набор изображений нефтяных пятен на космических снимках Sentinel-2, выделены и предложены перспективные районы для дальнейшего изучения на поисково-оценочном этапе геологоразведочных работ. Методические результаты иллюстрируют возможности системного картографического обеспечения при выполнении государственных программ недропользования с использованием космических снимков и тематических пространственных данных открытого пользования, рекомендованы при выполнении аналогичных задач в различных акваториях Мирового океана, в том числе на шельфе Российской Федерации.

Ключевые слова: Андаманский глубоководный бассейн, Бенгальский залив, естественные нефтепроявления, картографическое моделирование, картографическое обеспечение, мониторинг водных объектов, морская сейсморазведка, нефтяные загрязнения

Для цитирования:

Логинов Д. С., Беленко В. В., Баранова Н. И. Картографическое обеспечение оценки перспектив нефтегазоносности по данным дистанционного зондирования Земли и морских сейсморазведочных работ. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 96–107. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-96-107>

Cartographic methods for assessing hydrocarbon prospectivity using remote sensing and marine seismic survey data

D. S. Loginov^{1,2✉}, V. V. Belenko¹, N. I. Baranova^{1,3}

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

² LLC «Tselevoi Gorizont», Moscow, Russian Federation

³ All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russian Federation

e-mail: loginov@geohorizon.ru

Abstract. The article addresses methodological issues of cartographic methods for assessing hydrocarbon resource prospectivity in marine sedimentary basins using satellite remote sensing and other spatial datasets. Using the eastern and western parts of the Andaman deepwater basin as a case study, the selection of multispectral imagery is characterized with consideration of the study area's meteorological and oceanographic conditions. Issues of interpretation and cartographic modelling of the spatial distribution of hydrocarbon manifestations are examined. A method for analyzing the origin of oil slicks by integrating marine seismic survey data, maritime geoservice data, seismotectonic maps, and open-access bathymetric datasets is proposed and tested. The systematic cartographic workflow produced mapped outputs and a catalogue of oil-slick detections on Sentinel-2 imagery, and identified priority targets for follow-up exploration and appraisal. The methodological findings demonstrate the capabilities of integrated cartographic support for implementing national subsurface resource programs using satellite imagery and thematic open-access spatial data, and are recommended for similar applications across different oceanic regions, including the continental shelf of the Russian Federation.

Keywords: Andaman deepwater basin, Bay of Bengal, natural hydrocarbon seeps, cartographic modeling, cartographic support, water body monitoring, marine seismic exploration, oil spills

For citation:

Loginov D. S., Belenko V. V., Baranova N. I. (2026). Cartographic methods for assessing hydrocarbon prospectivity using remote sensing and marine seismic survey data. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 96–107. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-96-107>

Введение

Проведение геологоразведочных работ (ГРП) на ранее неизученных территориях и акваториях – актуальная задача при восполнении минерально-сырьевой базы и реализации государственных программ недропользования. Одним из ключевых признаков наличия нефтяной системы в акваториях Мирового океана является наличие нефтяных пятен на морской поверхности. В контексте оценки перспектив нефтегазоносности особый интерес представляют естественные минеральные нефтепроявления – природные запасы углеводородов, характеризующиеся естественным низкоскоростным выходом жидкой или газообразной сырой нефти и гудрона в атмосферу и на поверхность Земли из-за условий низкого давления или потока [1]. Такие нефтепроявления появляются на морской по-

верхности в результате просачивания вдоль или поперек нефтегазоносных слоев через разломы и трещины в осадочных породах, непосредственно из обнажений нефтеносных слоев, а также в результате высвобождения из различных донных морфологических форм (грязевых вулканов, покмарков и т. д.) после повышения пластового давления. Известный факт обнаружения крупнейшего морского нефтяного месторождения Кантарелл в Мексиканском заливе по наличию нефтяных пятен на поверхности воды [2] позволяет рассчитывать на открытие шельфовых месторождений по результатам комплексного дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ).

В настоящее время поиск нефтепроявлений осуществляется преимущественно путем экспертной оценки в результате визуального анализа космических изображений [1, 3–7].

Связано это с тем, что помимо естественных нефтепроявлений на поверхности морей и океанов в равной степени преобладают нефтяные пятна антропогенного и биогенного характера, которые по своим дешифровочным признакам мало отличаются между собой. Кроме того, преимущества дистанционных методов заключаются в скорости обнаружения загрязнений и меньших финансовых затратах, связанных с поддержанием оборудования и оплатой труда [8].

Вместе с тем системное картографическое обеспечение, направленное на познание аспектов окружающей действительности посредством создания и использования цифровых картографических и геоинформационных продуктов [9], способствует привлечению широкого спектра пространственных данных для картографического моделирования и повышения объективности оценки перспектив нефтегазоносности в отдаленных регионах и акваториях Мирового океана. Выполненные ранее исследования на западном побережье Индостана [10] показали эффективность разработанного технологического решения картографического моделирования перспектив нефтегазоносности в условиях высокоинтенсивного морского судоходства. В настоящей статье представляется необходимым выполнить системное картографическое обеспечение соответствующей оценки на примере Андаманского глубоководного осадочного бассейна как акватории с высоким уровнем сейсмичности.

Цель настоящего исследования – системное картографическое обеспечение оценки перспектив нефтегазоносности. Задачи: 1) картографическое моделирование пространственного положения нефтепроявлений различного генезиса по комплексу данных ДЗЗ, геолого-геофизических и других данных из открытых источников; 2) уточнение происхождения потенциально минеральных нефтепроявлений; 3) составление итоговой карты рекомендаций на проведение поисково-оценочного этапа геологоразведочных работ.

Материалы и методы

В основу работы положены теоретические и методологические исследования авторов в области системного картографического обеспечения научно-технической деятельности [9], анализа дистанционных методов обнару-

жения и исследования нефтяных загрязнений водных объектов [8], оценки перспектив нефтегазоносности по данным ДЗЗ из космоса и морских сейсморазведочных работ [10].

Основными источниками для картографического обеспечения оценки перспектив нефтегазоносности служат данные мультиспектральной съемки Sentinel-2. Указанный тип данных ДЗЗ из космоса доказал свою состоятельность при выполнении аналогичных исследований в западной континентальной окраине шельфа полуострова Индостан [10], в Яванском море [11], в Персидском заливе [12] и других регионах мира. Материалы о судоходстве, метеорологических параметрах и другие данные получены из открытых источников. Результаты интерпретации материалов региональной морской сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ 2D), выполненной в рамках Морской Андаманской программы сейсморазведки (2021–2023 гг.), представлены ООО «Целевой Горизонт».

Акватория исследования – Андаманский осадочный бассейн, расположенный в юго-восточной части Бенгальского залива в непосредственной близости от нефтегазоносного пояса Юго-Восточной Азии. Бассейн разделен на восточную и западную части островными дугами Андаманских и Никобарских островов и составляет большую часть не оцененной площади морских осадочных бассейнов Индии. По данным DGH (англ. Directorate General Hydrocarbons) (<https://dghindia.gov.in/assets/downloads/ar/2022-23.pdf>), коммерческие залежи углеводородов обнаружены в среднемиоценовом пласте, географически расположенном в восточной части Андаманского бассейна.

Выбор данных ДЗЗ

Информативность данных ДЗЗ напрямую зависит от сезона проведения съемки. Применительно к текущей задаче выбор временного диапазона осуществлялся с учетом метеорологических условий акватории картографирования. Оценка показателей скорости ветра, направления и скорости течений выполнялась по исследованиям [13–16] и по открытым метеорологическим данным геопортала Meteo-blue (<https://www.meteoblue.com/>). Определено, что диапазон скорости ветра 4–5 м/с (14,4–18 км/ч), предпочтительный для уве-

ренного дешифрирования нефтяных пятен как длинных и часто изогнутых или спиральных полос [17], наступает в акватории картографирования с февраля по апрель. В этот период наблюдается минимальная облачность и достаточная скорость ветра (10–20 км/ч), направление которого преимущественно северо-восточное и юго-западное [18].

Через портал EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) были получены 52 разновременных снимка Sentinel-2 (с ноября 2022 г. данные доступны только у официального дистрибьютора). На карте видно (рис. 1), что акватория исследования не покрыта полностью данными Sentinel-2, тем не менее, имеющиеся материалы позволяют выполнить дешифрирование в пределах большей части акватории исследования.

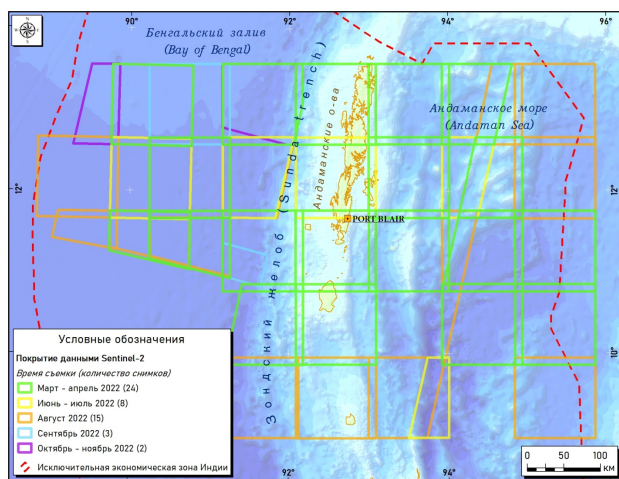


Рис. 1. Карта изученности данными Sentinel-2 на март – ноябрь 2022 г. (фоновая картографическая основа – данные GEBCO)

Дешифрирование нефтепроявлений и анализ их происхождения

Дешифрирование и оконтуривание нефтепроявлений природного и антропогенного характера выполнено на основе визуальных свойств нефтепроявлений, таких как форма и контраст между объектом и окружающим морем. Выбор метода обусловлен тем, что автоматизированные методы распознавания естественных нефтепроявлений и таких природных явлений, как апвеллинг, дождевые ячейки и др. пока находятся в стадии тестирования [19]. Тем не менее, в число ключевых

признаков дешифрирования входит группирование темных пятен линейной формы (или круглой – для вновь всплывшей нефти), в том числе протяженных на десятки километров, имеющих форму запятых, зигзагов или петель [1, 3–7].

По результатам дешифрирования обнаружено 72 потенциальных нефтяных пятна в восточной части и 34 пятна в западной части акватории исследования. Положение 34 % пятен хорошо коррелируется с открытыми данными о морском судоходстве (<https://www.marinetraffic.com/>), что в сочетании с основными дешифровочными признаками (светлая точка отражения солнечного света от металлического корпуса танкера и темный линейный след от смеси отработанного топлива и турбулентного следа от движения судна) указывает на их антропогенное происхождение. Восточный район имеет минимальное влияние мировых судоходных путей – только северо-восточная часть является основным маршрутом для танкеров и других крупногабаритных судов (рис. 2). Западную часть акватории затрагивает морской путь из Вишакхапатнама (одного из крупнейших портов Индии) в Малаккский пролив с северо-запада на юго-восток.

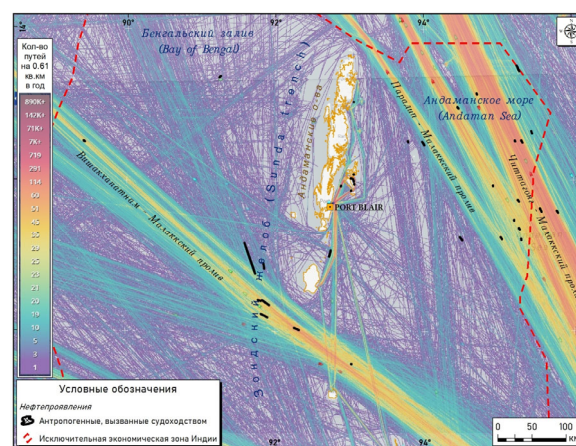


Рис. 2. Сопоставление траекторий морского судоходства и положения обнаруженных антропогенных нефтяных пятен (фоновая картографическая основа – данные Marine Traffic)

Для остальных 66 % объектов определено биогенного и минерального происхожде-

ния выполнялось по батиметрическим и геолого-геофизическим данным. Так, по данным Генеральной батиметрической карты океанов (GEBCO) установлено, что почти вся акватория, особенно ее западная часть, практически изолирована на глубинах более 3 000 м. Учитывая, что шельф Андаманского моря и Бенгальского залива относится к очагам формирования самых низких концентраций кислорода [20], в которых состав ихтиофауны на глубинах более 200 м очень ограничен и не представляет интереса для рыболовства [21], происхождение нефтепроявлений не является результатом разложения планктона, живых организмов и других биохимических реакций, т. е. биогенные нефтепроявления не ожидаются.

Акватория исследования находится в зоне интенсивной сейсмической активности. По данным Геологической службы Индии (<https://bhukosh.gsi.gov.in/>), очаги зарегистрированных землетрясений различной амплитуды в западной части акватории исследования преимущественно расположены к востоку от зоны субдукции (Зондский желоб – Sunda Trench) и приурочены к континентальной части коры (рис. 3). В восточной части акватории пояс очагов землетрясений относится к трансформной границе между Бирманской (Burma plate) и Зондской плитами (Sunda plate). Таким образом, повышенная сейсмичность может приводить к развитию системы разломов и трещин в осадочных породах, через которые углеводороды могут просачиваться вдоль или поперек нефтегазоносных пластов и непосредственно из обнажений нефтеносных пластов, а также выделяться из различных донных морфологических форм вследствие повышения пластового давления.

В этой связи для уточнения взаимосвязи нефтяных пятен с геологическими структурами, потенциально выступающими в качестве коллекторов углеводородов, требуются интерпретированные временные сейсмические разрезы (изображения сейсморазведочных данных на плоскости в координатах «расстояние вдоль профиля» – «время отражения по нормали»), поскольку по конфигурации и положению сейсмических границ вследствие различных акустических свойств пластов горных пород можно оценить распреде-

ление источников питания и путей миграции нефтепроявлений на поверхность моря.

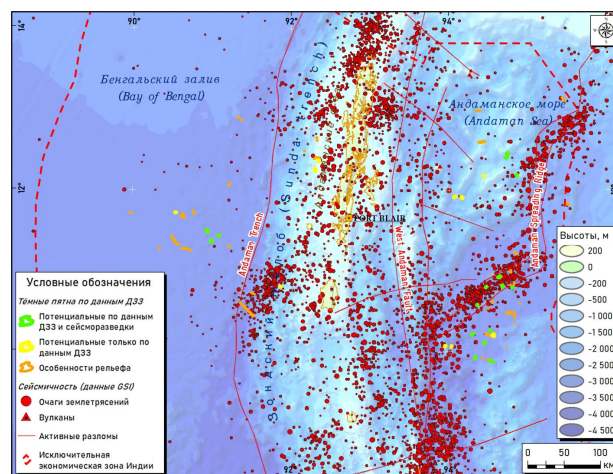


Рис. 3. Сопоставление положения неантропогенных нефтепроявлений с батиметрическими и сеймотектоническими данными из открытых источников

Анализ данных морской сейсморазведки

Для применения технологических решений комплексного анализа сейсморазведочных данных и результатов дешифрирования данных ДЗЗ [10] на временных сейсмических разрезах использовалась особая цветовая палитра, визуально повышающая резкость изменения амплитуд отраженных волн (метод «яркого пятна» – bright spot). В случаях обнаружения таких пятен соответствующее нефтепроявление классифицировалось как потенциально минеральное по данным ДЗЗ и сейсморазведки. Если минеральное происхождение объекта не подтверждалось (отсутствуют высокоамплитудные структуры и видна слабая система разломов и трещин), нефтепроявления классифицировались как особенности рельефа. При отсутствии сейсмических данных вблизи нефтепроявлений, которые по своим дешифровочным признакам заслуживают внимания, соответствующие нефтяные пятна классифицировались как потенциальные только по данным ДЗЗ. Учитывались и другие косвенные признаки наличия углеводородов – следы на морском дне, грязевые вулканы [22], следы вертикальной миграции

(в том числе «газовые трубы» – gas chimney), присутствие газовых гидратов [23].

Результаты

В результате 16 объектов в восточной части акватории исследования и 3 объекта

в западной (18 % от общего числа всех зарегистрированных нефтепроявлений) были классифицированы как потенциально минеральные (рис. 4). Большая часть заслуживающих внимания объектов представлена в восточной части акватории исследований.

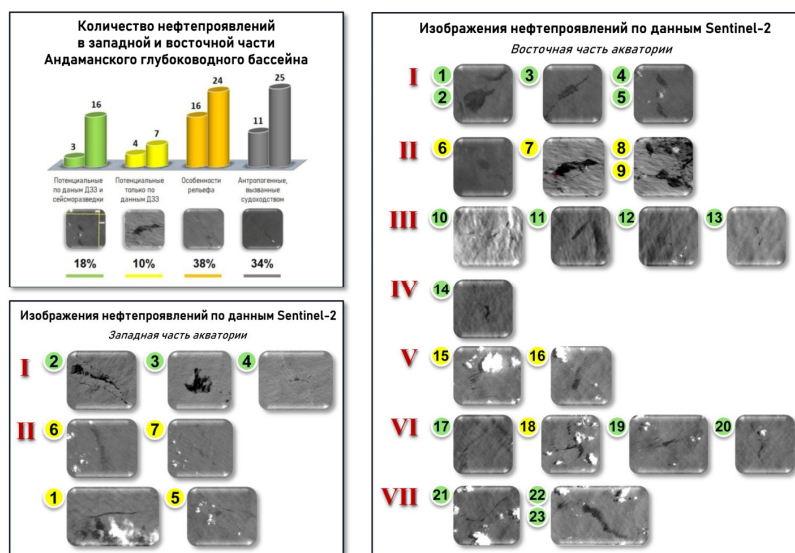


Рис. 4. Изображения нефтепроявлений по данным Sentinel-2 и статистическое распределение по западной и восточной части акватории исследования

По своей локализации нефтепроявления образуют семь зон, в пределах которых они равноудалены в среднем на 15 км (таблица).

Характеристика выявленных групп естественных минеральных нефтепроявлений

Зоны	Количество объектов	Средняя площадь объекта, км ²	Среднее расстояние между объектами, км	Средняя глубина моря, м	Преобладающий класс нефтепроявлений
Восточная часть акватории исследования (Андаманское море)					
I	5	0,34	18,6	1 120	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
II	3	0,52	7,0	1 692	Потенциальные только по данным ДЗЗ
III	4	0,27	21,1	3 205	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
IV	1	0,09	-	3 419	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
V	2	0,29	8,0	2 931	Потенциальные только по данным ДЗЗ
VI	4	0,48	19,5	3 155	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
VII	3	0,32	15,3	2 935	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
Западная часть акватории исследования (Бенгальский залив)					
I	3	0,97	15,0	3 304	Потенциальные по данным ДЗЗ и сейсморазведки
II	2	0,31	14,3	125	Потенциальные только по данным ДЗЗ

Одна из таких зон (зона III) зафиксирована на одиночных космических снимках в районе с высокой интенсивностью землетрясений, связанных с осью активного спрединга Бирманской и Зондской плит. Северный объект № 10 этой зоны представляет собой тонкий след, конфигурация которого соответствует изменению течения и приповерхностного ветра. На соответствующем сейсмическом разрезе наблюдается хорошо развитая система разломов и трещин (рис. 5, а – на последующих рисунках разломы показаны красными линиями, проекция нефтепроявления – зеленой заливкой), через которые могут дренировать углеводороды. Несмотря на то что объект-коллектор плохо распознается, район рекомендуется для даль-

нейшего изучения, поскольку очаги последних землетрясений магнитудой 5,45 и 5,195 были зарегистрированы вблизи объектов в 1984 г. на глубине 15–16 км.

Западный объект № 11 зоны III представляет собой контрастное пятно с рябью, характерное для нефтяных разливов. Оно возникло над системой разломов и трещин, которые соединены с потенциальным резервуаром (рис. 5, б). Примечательно, что последнее зарегистрированное землетрясение наблюдалось в 2009 г. магнитудой 4,685, очаг располагался на глубине 15,5 км. Таким образом, зафиксированное нефтепроявление может повториться в большем масштабе в случае нового сейсмического события.

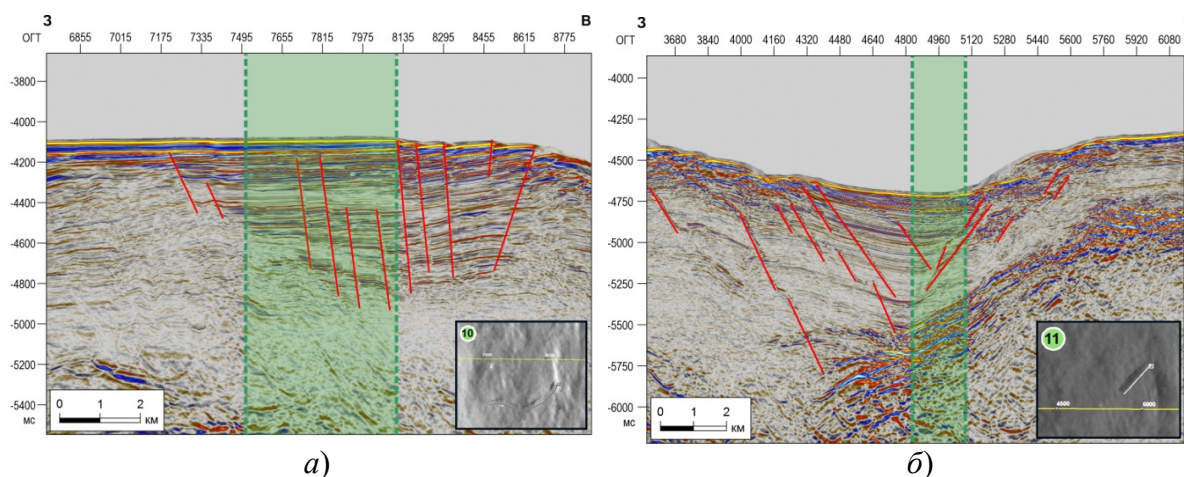


Рис. 5. Сейсмическое изображение и дистанционный образ:
а) объекта № 10; б) объекта № 11

Группы потенциально минеральных нефтепроявлений менее представительны на западной части акватории исследования. Тем не менее заслуживают внимания два темных пятна неправильной формы, которые четко дешифрируются среди удаленных неглубоких линеаментов и небольших облачных теней в глубоководной части Андаманского бассейна. Проекция этих объектов на меридиональный сейсмический профиль (рис. 6) располагается непосредственно над выходами вертикальных разломов, начало которых находится в достаточно плотных напластованиях. Несмотря на отсутствие «ярких пятен» на разрезе, эта зона представляет интерес, в том числе из-за фиксирования в 2005 г. очага землетрясения

магнитудой 4,515 на глубине 33 км, редкого для этой части океанической коры.

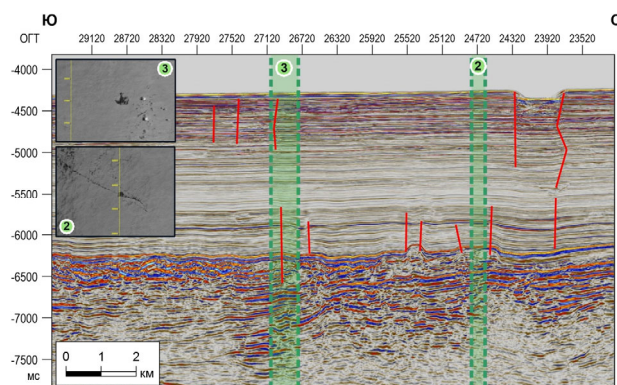


Рис. 6. Проекция объектов № 2 и № 3 на временной сейсмический разрез

По результатам картографического обеспечения оценки перспектив нефтегазоносности составлена карта расположения 106 нефтепроявлений различного происхождения (рис. 7).

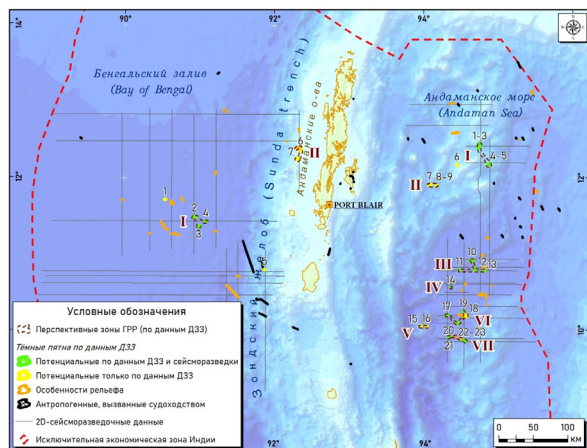


Рис. 7. Карта положения естественных и антропогенных нефтепроявлений в Андаманском глубоководном осадочном бассейне

Обсуждение

Результаты исследования подтвердили наличие в акватории Андаманского осадочного бассейна нефтепроявлений, чьи дешифровочные признаки указывают на их естественное происхождение. Большая часть потенциальных минеральных нефтепроявлений располагается в восточной части акватории исследования – непосредственно на шельфе Андаманского моря в исключительной экономической зоне Индии. Доступные сейсморазведочные данные подтвердили перспективность целого ряда темных пятен по наличию высокоамплитудных объектов и распознанной системы разломов на временных сейсмических разрезах. С точки зрения интерпретации геофизических данных выделенные зоны свидетельствуют о нефтегазоносности восточной части исследуемой акватории и представляют собой интерес для последующих изысканий.

Однако косвенные признаки в виде темных пятен на космических снимках наблюдаются не только вследствие наличия нефтяной системы, но и в результате активизации ис-

точников углеводородов в соответствующей геодинамической обстановке. Так, в условиях повышенной сейсмичности восточной части акватории исследования нефтегазоотводящие структуры на дне моря, через которые углеводороды поступают или просачиваются на поверхность дна [24], могут прекращать свою деятельность на некоторое время, а затем вновь появляться. Учитывая отсутствие на момент исследования источников техногенного загрязнения (действующих скважин глубокого бурения), можно утверждать, что сейсмичность недр является главным природным фактором, провоцирующим появление нефтяных пятен на морской поверхности. В этой связи для полной оценки требуется дальнейший мониторинг акватории и картографирование очагов появления нефтяных пятен для определения их связи с метеорологическими сезонами, тектонической обстановкой и другими факторами.

Ограничения текущих результатов также связаны с физическими основами процесса всплытия сырой нефти и распространения на поверхности моря в виде нефтяных пятен [25]. Положение нефтяных пятен зависит от многих факторов, в число которых входит дрейф под действием ветра и течений, подверженность окислению на поверхности моря и бактериальному разложению. В этой связи наличие больших глубин является негативным фактором, не позволяющим достоверно определить положение источника нефтепроявлений только по данным ДЗЗ.

Тем не менее реализация системного картографического обеспечения оценки перспектив нефтегазоносности по комплексу данных позволила разработать рекомендации на проведение поисково-оценочного бурения и высокоточной батиметрической съемки для изучения подводных морфологических особенностей в зонах I, III, IV, VI, VII, VIII на востоке акватории исследования и зон I, II на западной части. В случае положительных результатов следует учитывать большие риски последующей коммерческой эксплуатации недр Андаманского бассейна в сложной геодинамической обстановке. Актуальными станут исследования, направленные на прогнозирование последствий разливов нефти [16].

Заключение

В результате системного картографического обеспечения анализа получены картографические материалы и набор изображений нефтяных пятен на космических снимках Sentinel-2. Всего на площади 380 000 км² выявлено 19 нефтепроявлений, чье минеральное происхождение подтверждено по новым сейсморазведочным данным, полученным в рамках Морской Андаманской программы сейсморазведки (2021–2023 гг.). Неоднозначность перспектив Андаманского глубоководного бассейна обусловлена в первую очередь глубинами моря, а также наличием современной геодинамической ситуации в восточной части акватории исследования.

В методическом плане результаты исследования иллюстрируют возможности системного картографического обеспечения при вы-

полнении государственных программ недропользования с использованием космических снимков и тематических пространственных данных открытого пользования. Привлечение открытых данных о метеорологии, батиметрии, геологии акватории исследования позволяет выполнять картографическое моделирование положения нефтяных пятен, связанных не только с наличием нефтяной системы, но также с имеющимися экологическими проблемами, вызванными антропогенной нагрузкой вдоль основных морских путей сообщения.

Результаты исследования направлены на формирование рекомендаций по рациональному проведению поисково-оценочных ГРП в глубоководных осадочных бассейнах Мирового океана и могут быть использованы при реализации государственных программ недропользования на шельфе Российской Федерации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса. Под редакцией академика В. Г. Бондура. М. : Научный мир, 2012. 558 с.
2. Carvalho G. de A., Minnett P.J., Miranda F.P. de, Landau L., Moreira F. The Use of a RADARSAT-Derived Long-Term Dataset to Investigate the Sea Surface Expressions of Human-Related Oil Spills and Naturally Occurring Oil Seeps in Campeche Bay, Gulf of Mexico. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 2016. V. 42(3). P. 307–321. DOI 10.1080/07038992.2016.1173532.
3. Иванов А. Ю., Матросова Е. Р., Кучейко А. Ю., Филимонова Н. А., Евтушенко Н. В., Терлеева Н. В., Либина Н. В. Поиск и обнаружение естественных нефтепроявлений в морях России по данным космической радиолокационной съемки. *Исследование Земли из космоса*. 2020. № 5. С. 43–62. DOI 10.31857/S0205961420050061.
4. Митягина М. И., Лаврова О. Ю. Выход естественных углеводородов со дна Каспийского моря в районе туркменского шельфа, выявленный по спутниковым данным. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 2. С. 292–298. DOI 10.21046/2070-7401-2020-17-2-292-298.
5. Alpers W., Holt B., Zeng K. Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls. *Remote Sensing of Environment*. 2017. V. 201. P. 133–147. DOI 10.1016/j.rse.2017.09.002.
6. Caruso M. J., Migliaccio M., Hargrove J. T., Garcia-Pineda O., Graber H. C. Oil spills and slicks imaged by synthetic aperture radar. *Oceanography*. 2013. V. 26 (2). P. 112–123, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2013.34>.
7. Mazumder S., Saha K. K. Detection of offshore oil seepages using remote sensing. *Proceedings of the Society of Petroleum Geophysicist Conference*, 9–12 January 2006, Kolkata. Dehradun: Society of Petroleum Geophysicists. 2006. P. 1172–1178, https://spgindia.org/conference/6thconf_kolkata06/290.pdf.
8. Беленко В. В., Новочадова А. В. Обзор дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений водных объектов в Российской Федерации. *Пространственные данные: наука и технологии*. 2025. Т. 16. № 1. С. 8–25. DOI 10.30533/scidata-2025-16-01.

9. Логинов Д. С. Картографическое обеспечение как процесс: концептуальная модель системы и ее применение. *Геодезия и картография*. 2026. № 2. С. 10–22. DOI 10.22389/0016-7126-2026-1028-2-10-22.
10. Логинов Д. С. Дешифрирование нефтепроявлений и определение их происхождения с использованием данных морской сейсморазведки: на примере западной континентальной окраины Индии. *Геоинформатика*. 2024. № 1. С. 55–67. DOI 10.47148/1609-364X-2024-1-55-67.
11. Afgatiani P. M., Putri F. A., Suhadha A. G., Ibrahim A. Determination of Sentinel-2 spectral reflectance to detect oil spill on the sea surface. *Sustinere Journal of Environment and Sustainability*. 2020. V. 4. No. 3. P. 144–154. DOI 10.22515/sustinere.jes.v4i3.115.
12. Nezhad M. M., Groppi D., Laneve G., Marzioletti P. Oil Spill Detection Analyzing "Sentinel 2" Satellite Images: A Persian Gulf Case Study. 3rd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'18), Budapest, Hungary. 2018. 8 p. DOI 10.11159/awspt18.134.
13. Chandran S. T., Raj S. B., Ravindran S. et al. Upper layer circulation, hydrography, and biological response of the Andaman waters during winter monsoon based on in situ and satellite observations // *Ocean Dynamics*. 2018. V. 68. P. 801–815. DOI 10.1007/s10236-018-1160-x.
14. Jithin A. K., Francis P. A. Role of internal tide mixing in keeping the deep Andaman Sea warmer than the Bay of Bengal. *Scientific Reports*. 2020. V. 10 (11982). 10 p. DOI 10.1038/s41598-020-68708-6.
15. Magalhaes J., da Silva J. Internal Solitary Waves in the Andaman Sea: New Insights from SAR Imagery. *Remote Sensing*. 2018. V. 10(6), 861. 16 p. DOI 10.3390/rs10060861.
16. Singh S., Thattai D., Rangarajan S., Jaishree D. Oil spill risk assessment study for Andaman and Nicobar Islands, India // *The 11th National Conference on Mathematical Techniques and Applications*. 2019. V. 020026. 7 p. DOI 10.1063/1.5112211.
17. Mitra D. S., Majumdar T. J., Ramakrishnan R., Dave H., Mazumder S. Detection and monitoring of offshore oil seeps using ERS/ENVISAT SAR/ASAR data and seep-seismic studies in Krishna-Godavari offshore basin, India. *Geocarto International*. 2012. V. 28:5. P. 404–419. DOI 10.1080/10106049.2012.715207.
18. Naskar P. R. Statistical analysis of wind characteristics and wind energy potential of Port Blair, India // *MAUSAM*. 2021. Vol. 72. No. 2. P. 443–456. DOI 10.54302/mausam.v72i2.615.
19. Carvalho G. de A., Minnett P.J., Ebecken N.F.F., Landau L. Oil Spills or Look-Alikes? Classification Rank of Surface Ocean Slick Signatures in Satellite Data. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13, No. 3466. 30 p. DOI 10.3390/rs13173466.
20. Солдатов А. А. К природе развития естественных эндогенных гипоксических состояний у водных организмов. *Журнал общей биологии*. 2022. Т. 83. № 6. С. 450–461. DOI 10.31857/S0044459622060070.
21. Karuppasamy P. K., Lalu Raj C. M., Muralledharan K. R., Maheswari N. Myctophid and pelagic shrimp assemblages in the oxygen minimum zone of the Andaman Sea during the winter monsoon. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. 2011. V. 40(4). P. 535–541.
22. Basu P., Verma R., Paul R., Viswanath K. Mud volcanoes in deep water of Andaman Forearc Basin. 9th Biennial International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, Hyderabad 2012. 7 p.
23. Prakash A., Samanta B. G., Singh N. P. Evidence of gas hydrate accumulation and its resource estimation in Andaman deep water basin from seismic and well log data. *Marine Geophysical Research*. 2012. V. 34. P. 1–16. DOI 10.1007/s11001-012-9163-3.
24. Etiope G. *Natural Gas Seepage: The Earth's hydrocarbon degassing*. Springer International Publishing. 2015. 199 p. DOI 10.1007/978-3-319-14601-0.
25. Bondur V. G. Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas areas and facilities. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011. V. 47(9). P. 1007–1018. DOI 10.1134/s0001433811090039.

REFERENCES

1. Bondur, V. G. (Ed.) (2012). *Aerokosmicheskiy monitoring ob'yektov neftegazovogo kompleksa. Pod redaktsiyey akademika V. G. Bondura [Aerospace monitoring of objects of oil and gas facilities. Book editor by Valery G. Bondur]*. Moscow: Nauchnyy mir [in Russian].
2. Carvalho G. de A., Minnett P. J., Miranda F. P. de, Landau L., Moreira F. (2016). The Use of a RADARSAT-Derived Long-Term Dataset to Investigate the Sea Surface Expressions of Human-Related Oil Spills and Naturally Occurring Oil Seeps in Campeche Bay, Gulf of Mexico. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42(3), pp. 307–321. DOI 10.1080/07038992.2016.1173532.
3. Ivanov A. Yu., Matrosova E. R., Kucheiko A. Yu., Filimonova N. A., Evtushenko N. V., Terleeva N. V., Libina N. V. (2020). Search and Detection of Natural Oil Seeps in the Russian Seas Using Spaceborne SAR Imagery. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa [Earth Research From Space]*, No. 5, pp. 43–62. DOI 10.31857/S0205961420050061 [in Russian].
4. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu. (2020). A point of petroleum hydrocarbons emission from the seabed in the Turkmenian shelf area of the Caspian Sea discovered via satellite data. *Sovremennyye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current problems in remote sensing of the Earth from Space]*, 17(2), pp. 292–298. DOI 10.21046/2070-7401-2020-17-2-292-298 [in Russian].
5. Alpers W., Holt B., Zeng K. (2017). Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls. *Remote Sensing of Environment*, V. 201, pp. 133–147, DOI 10.1016/j.rse.2017.09.002.
6. Caruso M. J., Migliaccio M., Hargrove J. T., Garcia-Pineda O., Graber H. C. (2013). Oil spills and slicks imaged by synthetic aperture radar. *Oceanography*, 26(2), pp. 112–123. DOI 10.5670/oceanog.2013.34.
7. Mazumder S., Saha K. K. (2006). Detection of offshore oil seepages using remote sensing, Proceedings of the Society of Petroleum Geophysicist Conference, 9–12 January 2006, Kolkata. Dehradun: Society of Petroleum Geophysicists, pp. 1172–1178, https://spgindia.org/conference/6thconf_kolkata06/290.pdf
8. Belenko V. V., Novochadova A. V. (2025). Review of Remote Methods of Detection and Investigation of Oil Pollution of Water Bodies in the Russian Federation. *Prostranstvennyye dannyye: nauka i tekhnologii [Spatial Data: Science, Research and Technology]*, 16(1), pp. 8–26. DOI 10.30533/scidata-2025-16-01 [in Russian].
9. Loginov D. S. (2026) Cartographic support as a process: conceptual model of system and its application. *Geodesy and cartography*, 87(2), pp. 10–22. DOI 10.22389/0016-7126-2026-1028-2-10-22 [in Russian].
10. Loginov D. S. (2024). Interpretation and origin determination of oil seepages using marine seismic data: a case study of the Western Continental Margin of India. *Geoinformatika*. (1), pp. 55–67. DOI 10.47148/1609-364X-2024-1-55-67[in Russian].
11. Afgatiani P. M., Putri F. A., Suhadha A. G., Ibrahim A. (2020). Determination of Sentinel-2 spectral reflectance to detect oil spill on the sea surface. *Sustinere Journal of Environment and Sustainability*. Vol. 4, No. 3, pp. 144–154. DOI 10.22515/sustinere.jes.v4i3.115.
12. Nezhad M. M., Groppi D., Laneve G., Marzioletti P. (2018). Oil Spill Detection Analyzing "Sentinel 2" Satellite Images: A Persian Gulf Case Study, 3rd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'18), Budapest, Hungary, 8 p. DOI 10.11159/awspt18.134.
13. Chandran S. T., Raj S. B., Ravindran S. et al. (2018). Upper layer circulation, hydrography, and biological response of the Andaman waters during winter monsoon based on in situ and satellite observations. *Ocean Dynamics*. V. 68, pp. 801–815. DOI 10.1007/s10236-018-1160-x.
14. Jithin A. K., Francis P. A. (2020). Role of internal tide mixing in keeping the deep Andaman Sea warmer than the Bay of Bengal. *Scientific Reports*. V. 10 (11982), 10 p. DOI 10.1038/s41598-020-68708-6.
15. Magalhaes J., da Silva J. (2018). Internal Solitary Waves in the Andaman Sea: New Insights from SAR Imagery. *Remote Sensing*. Vol. 10(6), 861, 16 p. DOI 10.3390/rs10060861.

16. Singh S., Thattai D., Rangarajan S., Jaishree D. (2019). Oil spill risk assessment study for Andaman and Nicobar Islands, India. *The 11th National Conference on Mathematical Techniques and Applications*. V. 020026, 7 p. DOI 10.1063/1.5112211.
17. Mitra D. S., Majumdar T. J., Ramakrishnan R., Dave H., Mazumder S. (2012). Detection and monitoring of offshore oil seeps using ERS/ENVISAT SAR/ASAR data and seep-seismic studies in Krishna-Godavari offshore basin, India. *Geocarto International*. V. 28, No. 5, pp. 404–419. DOI 10.1080/10106049.2012.715207.
18. Naskar P. R. (2021). Statistical analysis of wind characteristics and wind energy potential of Port Blair, India. *MAUSAM*. Vol. 72. No. 2, pp. 443–456. DOI <https://doi.org/10.54302/mausam.v72i2.615>.
19. Carvalho G. de A., Minnett P. J., Ebecken N. F. F., Landau L. (2021). Oil Spills or Look-Alikes? Classification Rank of Surface Ocean Slick Signatures in Satellite Data. *Remote Sensing*. Vol. 13, No. 3466, 30 p. DOI 10.3390/rs13173466.
20. Soldatov A. A. (2022). To the nature of the development of endogenous hypoxic states in aquatic organisms. *Zhurnal obshchey biologii [Biology bulletin reviews]*. Vol. 83(6), pp. 450–461. DOI 10.31857/S0044459622060070 [in Russian].
21. Karuppasamy P. K., Lalu Raj C. M., Muralledharan K.R., Maheswari N. (2011). Myctophid and pelagic shrimp assemblages in the oxygen minimum zone of the Andaman Sea during the winter monsoon. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. Vol. 40(4), pp. 535–541.
22. Basu P., Verma R., Paul R. Viswanath K. (2012). Mud volcanoes in deep water of Andaman Forearc Basin. *9th Biennial International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics*, Hyderabad 2012, 7 p.
23. Prakash A., Samanta B. G., Singh N.P. (2012). Evidence of gas hydrate accumulation and its resource estimation in Andaman deep water basin from seismic and well log data. *Marine Geophysical Research*. V. 34, pp. 1–16. DOI 10.1007/s11001-012-9163-3.
24. Etiope G. (2015). Natural Gas Seepage: The Earth's hydrocarbon degassing. *Springer International Publishing*, 199 p. DOI 10.1007/978-3-319-14601-0.
25. Bondur V. G. (2011). Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas areas and facilities. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 47(9), pp. 1007–1018. DOI 10.1134/s0001433811090039.

Об авторах

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

Виктор Владимирович Беленко – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры космического мониторинга и экологии.

Наталья Игоревна Баранова – инженер 1-й категории (ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»), аспирант кафедры визуализации геоданных и картографического дизайна (картографический факультет, МИИГАиК).

Author details

Dmitriy S. Loginov – Ph. D., Associate Professor, Department of Geodata Visualization and Cartographic Design, Leading GIS-specialist.

Viktor V. Belenko – D. Sc., Professor, Department of Space Monitoring and Ecology

Natalia I. Baranova – 1st Category Engineer, Ph. D. student, Department of Geodata Visualization and Cartographic Design.

Получено / Received 10.04.2026

Поступила после рецензирования / Revised 18.05.2026

Принята к публикации / Accepted 27.05.2026

Научно-теоретическая статья/Theoretical article

УДК 528.9

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-108-120>

Современные тенденции, проблемы и задачи картографии

Я. Г. Пошивайло¹✉

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

e-mail: yaroslava@snga.ru

Аннотация. В настоящее время заканчивается период становления цифровой картографии, на протяжении которого практически полностью реализованы прогнозируемые на рубеже веков направления. Вследствие этого проявилась необходимость переосмысления достигнутых результатов, выявления тенденций, проблем и задач развития картографии в целом, в том числе в области процессов и продуктов картографии, и на этой основе прогнозирования новых горизонтов в ее развитии. По мнению автора, достижения 4-й промышленной революции ведут к соответствующему преобразованию картографии, к переходу от цифровой картографии к постцифровой, в том числе в части обработки данных на основе соответствующим образом преобразованных ГИС. Об этом свидетельствует возникновение новых видов картографических продуктов, создаваемых в ГИС и других программных средах (на основе расширенной реальности, геопространственных цифровых двойников), развитие геопространственных экосистем, интеллектуализация ГИС и др. С учетом этого в статье представлены результаты анализа развития технологических концепций картографирования, сформулирован ряд методологических выводов, характеризующих новый этап развития картографии, а также обоснованы предпосылки формирования геоинтеллектуальной концепции картографии.

Ключевые слова: постцифровая картография, искусственный интеллект, автономные ГИС, геопространственный цифровой двойник, геопространственные экосистемы, иммерсивные технологии, геоинтеллектуальная концепция картографии

Для цитирования:

Пошивайло Я. Г. Современные тенденции, проблемы и задачи картографии. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 108–120. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-108-120>

Current trends, key challenges, and priority tasks in cartography

Y. G. Poshivaylo¹✉

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

e-mail: yaroslava@snga.ru

Abstract. The era of digital cartography, in which the trends anticipated at the turn of the century have been almost reached, is drawing to the end. This milestone has prompted a reevaluation of past achievements and identification of emerging trends, problems, and challenges in cartography as a whole, and, on this basis, the forecasting of new horizons for the field. According to the author, the achievements of the 4th Industrial Revolution are driving a fundamental transformation of cartography: a transition from digital to "post-digital" cartography, including data processing built on cor-

respondingly evolved GIS. Evidence of this transition includes the emergence of new cartographic products created in GIS and other software environments (such as augmented reality solutions and geospatial digital twins), the development of geospatial ecosystems, and the intellectualization of GIS. Considering this, the article presents an analysis of cartography's technological concepts, formulates methodological conclusions that characterize a new stage in its development, and substantiates the prerequisites for emerging geointellectual concept of cartography.

Keywords: post-digital cartography, artificial intelligence, autonomous GIS, geospatial digital twin, geospatial ecosystems, immersive technologies, geointellectual cartography concept

For citation:

Poshivaylo Y. G. (2026). Current trends, key challenges, and priority tasks in cartography. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 108–120. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-108-120>

Введение

Картография значительно изменилась в связи с всеобщей цифровизацией экономики и общества и развитием информационных технологий, вызванных переходом в начале 1960-х гг. от индустриальной к пост-индустриальной (информационной, цифровой) эпохе [1]. Развитие ГИС и интеграция их в картографию привели к становлению науки геоинформатики и формулированию новых понятий: цифровая модель местности, цифровая карта, цифровая картография и цифровое, а затем и геоинформационное, картографирование.

Произошедшая трансформация аналоговой картографии в цифровую, основанную на ГИС, закономерно вызвала пересмотр существующих теоретических концепций. В геоинформационной концепции, которая возникла как ответ на технологические изменения, происходившие в период расцвета цифровизации техносферы, картография представляется как наука о системном информационном моделировании и познании геосистем [2–4]. В отличие от познавательной и языковой концепций картографии, геоинформационная является наиболее «технологически-ориентированной».

К началу 20-х гг. XXI в. геоинформационная обработка данных, включающая в себя ГИС и геопространственную аналитику, сложилась как одна из четырех ключевых сквозных технологий формирующейся в настоящее время новой отрасли экономики – геоиндустрии [5] наряду с технологиями позиционирования (глобальными, локальными, ги-

бридными системами); дистанционного зондирования Земли различными платформами и съемок сканирующими системами, такими как LiDAR, Radar, GPR, EML.

Геоиндустрия становится ключевым элементом цифровой экономики, предоставляя данные для управления природными ресурсами и урбанизацией, развития точного земледелия, оптимизации транспортной инфраструктуры и сетей связи, прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций, укрепления обороноспособности и т. п.

Этап развития картографии как части геоиндустрии (с 2001 г. до настоящего времени – 2025 г.) можно считать **становлением цифровой картографии**, в котором реализованы прогнозируемые на рубеже веков направления: мультимедийная картография, навигационная картография, многомерная картография, мобильная картография, веб-картография, когнитивная картография [6].

Таким образом, геоиндустрия заняла свое место в экономике и социальной сфере цифровой эпохи. Однако в настоящее время, по мнению научного сообщества, наблюдается активное движение к новой эпохе, основанной на интеллектуализации и других достижениях 4-й индустриальной революции [7], таких как искусственный интеллект (ИИ), интернет вещей, большие данные, блокчейн, аддитивное производство, облачные и квантовые вычисления, расширенная реальность. В этой связи появились понятия киберфизических систем, технологических экосистем, цифровых двойников, метавселенной.

Также предлагаются различные наименования грядущей эпохи: эпоха знаний, эпоха

киберфизических систем, постцифровая эпоха. Термин «постцифровой» описывает период, когда цифровые технологии становятся настолько повсеместными и интегрированными в науку, производство, культуру и общество, что перестают быть чем-то отдельным или уникальным, а становятся данностью, неотъемлемой частью нашего повседневного опыта [8]. Это, однако, не означает конца цифровой эпохи, но, скорее ее новую фазу развития. Вследствие этого стала очевидной необходимость очередного переосмысления достигнутых результатов, выявления тенденций, проблем и задач развития картографии в целом, в том числе в области процессов и продуктов картографирования.

Таким образом, картография, следуя за изменением методов и технологий картографирования, эволюционировала сначала от аналоговой к цифровой, а сегодня переходит на следующий уровень, который может быть назван **постцифровой картографией**.

Постцифровая картография

Прогнозирование направлений, особенностей развития, трендов и тенденций постцифровой картографии целесообразно начать с оценки реализованных к настоящему времени сценариев развития картографии, предсказанных в начале XXI в. [9–13]. Например, в статье [12], включающей 28 библиографических источников, отмечены такие оценки и будущие возможности картографии, как взаимодействие с картой посредством интернета, визуализация карты в реальном режиме времени в соответствии с требованиями пользователя, расширенное применение режимов 3D, внедрение мультимедийных технологий. Необходимо отметить, что большинство из них осуществилось, однако некоторые спрогнозированные возможности либо не осуществились вообще (например, не сбылся прогноз, что аналоговые карты как средство сохранения данных будут использоваться до 2009 г. [12]), либо пока не реализованы на ожидаемом уровне, например, составление и визуализация карт по запросу пользователя в режиме реального времени. Также до сих пор находятся на этапе разработки устройства для голографиче-

ской визуализации, широкое распространение которых ожидали в начале XXI в. [13].

Начавшиеся преобразования обобщенно могут быть представлены как интеллектуализация технологических процессов и результатов картографии. Вследствие этого изменяются ее роль, назначение, задачи и функции; на основе современных технических возможностей разрабатываются новые технологии, происходит расширение состава и дифференциация информационных объектов, возникают новые виды картографической продукции и услуг, расширяется и изменяется среда использования геопространственной информации и других инноваций, формирующих новую постцифровую картографию и трансформирующие процессы картографирования. С точки зрения продукта картографирования карта эволюционировала из информационной модели в операционную среду, которая сопровождает действия пользователя в геопространстве, обеспечивая его потребности.

На основе перечисленных факторов и общетехнической парадигмы интеллектуализации техносферы указанные изменения в картографии могут быть сформулированы в виде методологического вывода: *«Эволюционный переход от цифровой к постцифровой картографии обусловлен наступлением принципиально нового периода развития человеческой цивилизации, базирующегося на достижениях 4-й индустриальной революции, и заключается в интеллектуализации технологических процессов картографирования и переходе от обеспечения пользователей информационной картографической продукцией к решению их проблем и задач»*.

Рассмотрим более детально некоторые из перечисленных выше факторов.

Интеллектуализация картографии

Интеллектуальная деятельность человека всегда лежала в основе создания и использования карт. В процессе картографирования специалист не просто фиксирует реальность, а интерпретирует ее и осуществляет когнитивную визуализацию. Картографический метод исследования также основывается на интеллектуальной деятельности человека: в процессе анализа карты происходит познание и прогнозирование процессов и явлений,

связанных с их пространственным размещением. Цифровизация картографии обусловила внедрение в процесс картографирования технических устройств и систем, в том числе компьютерной техники. На следующем витке технологического развития начался процесс интеллектуализации картографии в направлении внедрения искусственного интеллекта в процессы создания и использования карт и оказания картографических услуг.

В глобальном смысле под интеллектуализацией понимают создание интеллектуального инструмента развития экономики, основанного на знаниях. На уровне технологий интеллектуализация – это процесс внедрения в технические объекты, системы и процессы (в том числе информационные) компонентов, обладающих интеллектуальными свойствами.

В большей степени интеллектуализация затронула геоинформационные системы как основной инструмент картографической отрасли. Например, под интеллектуальной предлагается понимать ГИС, которая включает инструменты и (или) подсистемы искусственного интеллекта [14]. В интеллектуальных ГИС применимы как «классическая» геоинформационная обработка, так и интеллектуальная обработка информации. Например, искусственная нейронная сеть может использоваться в сочетании с обычной ГИС [15].

Интеллектуализация программных инструментов картографии, в том числе ГИС, сегодня происходит по ряду направлений [16]:

- интеллектуализация процессов поиска и сбора данных;
- анализа и интерпретации данных;
- представления информации.

Учитывая направления, по которым происходит интеллектуализация программных инструментов, можно сделать методологический вывод: *«Интеллектуализация картографии заключается в замене или трансформации процессов, ранее осуществляемых на основе интеллекта человека, процессами, реализуемыми на основе искусственного интеллекта»*.

В рамках интеллектуализации картографии стало широко использоваться понятие GeoAI (геопро пространственный искусственный

интеллект) – подотрасли, развивающиеся на стыке ИИ и наук о Земле [17–19].

Развитие больших генеративных моделей ИИ (GenAI) в области обработки и генерации языка, аудио, зрения и мультимодальных технологий (например, ChatGPT), а также исследования в сфере разработок общего искусственного интеллекта ведут к революционизации информационных систем. Под влиянием генеративного ИИ исследования продвинулись в направлении концепции автономной ГИС как геоинформационной системы следующего поколения, работающей на базе ИИ и реализуемой в виде различных автономных агентов, которые могут компетентно решать геопро пространственные задачи с минимальным вмешательством человека или без него [20, 21]. Автономные агенты уже продемонстрировали большой потенциал в различных областях экономики [22]. Таким образом, автономные ГИС представляют собой новую парадигму интеграции ИИ с ГИС, где ИИ становится искусственным геопро пространственным аналитиком.

Интеллектуализация картографии в части процессов создания и использования карт и предоставления картографических услуг требует дальнейшего осмысления и реализации, поскольку именно эти направления в настоящее время вносят значимый вклад в преобразование геопро пространственной индустрии.

Новые виды картографической продукции и услуг и гибридные решения

Результаты картографического обеспечения [23] включают в себя как продукцию, так и услуги [24]. Необходимо отметить, что современные тренды в бизнесе делают акцент на услугах как динамичных и постоянно обновляемых ресурсах, а не статичных продуктах. Система «продукт – услуга» (Product-Service System, PSS) предлагает модель, где вместо продажи продукта предлагается комплексное решение (продукт + услуги).

Фактом, свидетельствующим о переходе к постцифровой картографии, является возникновение новых видов картографической продукции, услуг и их комбинаций (геопро пространственные цифровые двойники, иммерсивные картографические продукты), произ-

водимых с помощью ГИС и других программных сред.

1. *Цифровые двойники (Digital Twins)*. В результате интеграции различных программных сред можно создавать принципиально новый вид картографического продукта – геопространственный цифровой двойник (ГЦД) [25] или цифровой двойник территории. В отличие от 3D-моделей или карт геопространственные цифровые двойники, интегрируя разнообразные пространственные, сенсорные и социально-экономические данные с возможностями программно-информационных сред, обеспечивают двустороннюю информационную связь с объектом картографирования. При этом они позволяют не только визуализировать, но и анализировать и прогнозировать происходящие изменения, а также моделировать различные сценарии и формировать управляющее воздействие, как показано в [26].

Конечной целью создания ГЦД является обеспечение функционирования интеллектуальных систем развития и управления территориями. В качестве примера такого двойника приведем технологические разработки Китайской Народной Республики, где принята и реализуется программа систем интеллектуального водопользования. Согласно этой программе к 2035 г. ожидается, что все виды деятельности по управлению и регулированию водопользованием будут полностью цифровизированы и взаимосвязаны и станут управляться интеллектуальными системами. Таким образом, создается новый тип инфраструктуры, которая использует физический водораздел в качестве базовой единицы, пространственно-временные данные – как фундамент, математические модели – как ядро, а гидрологические знания – как движущую силу [27]. Инфраструктура цифрового двойника обеспечивает цифровое картографирование, а также интеллектуальное моделирование и прогнозирование всех элементов в пределах физического водораздела и всего процесса управления и регулирования водными ресурсами. Благодаря синхронизированному моделированию, виртуально-физическому взаимодействию и итеративной оптимизации обеспечивается мо-

нитинг в реальном режиме времени, а также обнаружение проблем и оптимизированное планирование физического водораздела.

Таким образом, ориентация программных инструментов картографирования на создание принципиально нового геопространственного продукта – цифрового геопространственного двойника в сочетании с геопространственной услугой по его использованию существенно расширяет функционал картографии и позволяет сделать методологический вывод: *«Трансформация программных инструментов картографирования в направлении создания и использования новых геопространственных продуктов – цифровых геопространственных двойников и услуг на их основе обеспечивает принципиально новую функциональную возможность конвергенции геопространственных данных, информации и технологий с технологическими процессами и системами отраслей, осуществляющих свою деятельность на территориях»*.

2. *Иммерсивные картографические продукты* создаются на основе технологий виртуальной (VR), дополненной (AR) и смешанной (MR) и в целом расширенной (XR) реальности. Такие продукты комбинируют классические картографические данные с кроссплатформенными средами разработки компьютерных игр (типа Unity), что позволяет достичь новых возможностей для иммерсивного взаимодействия, превосходящих традиционные инструменты цифровой визуализации. Основной особенностью таких продуктов является изоморфизм (максимально возможное соответствие виртуальной модели и реального пространства – геометрическое подобие, сенсорное соответствие, поведенческий изоморфизм).

Интерактивные 3D-карты. С их помощью отображение объектов картографирования в трехмерном пространстве выполняется на экране мобильного устройства (камеры смартфона, очков дополненной реальности и др.) поверх объектов реального мира. Технология дополненной реальности позволяет как услугу выполнять виртуальное обновление тиражных оттисков карт [28].

Навигация с дополненной реальностью (AR-навигация) представляет собой наложение цифровых указаний, стрелок, меток, маршрутов на изображения окружающего мира в реальном времени для интуитивно понятной навигации.

Картографические продукты, отображаемые в виртуальной реальности, позволяют при помощи систем VR отображать картографическое изображение и осуществлять взаимодействия с ним.

Смешанная реальность пока недостаточно распространена в геоиндустрии ввиду высокой стоимости оборудования, необходимости специализированного программного обеспечения и ограниченности контента по сравнению с более разработанными технологиями, такими как виртуальная и дополненная реальность. Несмотря на это, технология имеет большой потенциал и ее распространение ожидается по мере развития рынка.

Иммерсивные технологии в сочетании с ГИС служат платформой для революционных изменений в методологиях визуализации гео-данных и создания совершенно новых способов взаимодействия с пространственной информацией [29].

Отсюда следует вывод о том, что иммерсивные технологии трансформируют картографию, геоинформационные системы и технологии, предлагая новые, интуитивно понятные способы визуализации и взаимодействия с геопространственными данными, напрямую влияющие на когнитивный процесс восприятия и анализа местности.

Геопространственные среды (экосистемы)

Одним из технологических прорывов, происходящих в геоиндустрии, является формирование цифровой геопространственной экосистемы, которая станет следующим эволюционным этапом развития концепции инфраструктуры пространственных данных [30]. Под технологической экосистемой понимают совокупность взаимосвязанных и интегрированных цифровых платформ, сервисов, приложений, устройств и данных, которые функционируют как единое целое. Цель такой системы – создать бесшовную, интегрированную среду, которая позволяет пользователям и компаниям эффективно взаимодействовать, автоматизировать процессы, повышать про-

изводительность и удовлетворять потребности пользователей.

В картографии цифровая геопространственная экосистема способна революционизировать то, как мы понимаем наш мир и взаимодействуем с ним, переходя от предоставления простых знаний к применению передового интеллекта.

В научной литературе описаны четыре основные цифровые геопространственные экосистемы, различающиеся уровнем охвата и масштабирования окружающей среды: геоинформационное пространство, Цифровая Земля, Геовселенная и Метавселенная.

Понятие геоинформационного пространства раскрывается в монографии А. П. Карпика [31] как информационная координированная компьютерная совокупная модель геопространства и уточняется в последующих статьях [32, 33].

Концепция Цифровой Земли активно развивается, начиная с 2006 г., когда было создано Международное общество Цифровая Земля (ISDE) [34]. С тех пор видение концепции менялось, и, начиная с 2023 г. с методологической точки зрения заявлен переход Цифровой Земли от инфраструктуры пространственных данных к парадигме полноценной цифровой экосистемы [35]. Некоторые авторы предлагают «...рассматривать «Цифровую Землю» в широком смысле и метавселенную в качестве синонимов с определенными допущениями» [36].

Понятие Геовселенная (Geoverse) не является общепризнанным устоявшимся научным термином. Оно содержится в отчетном документе [37] Комитета экспертов по глобальному управлению геопространственной информацией ООН от 2022 г., в котором Геовселенная определяется как глобально взаимосвязанная геопространственная информационная экосистема, включающая 2-, 3- и 4-мерные визуализации, предиктивную аналитику, знания в реальном времени во всех их формах и широкий спектр интегрированных и совместимых данных из различных секторов и дисциплин. Геовселенная представляется подмножеством глобальной цифровой экосистемы и имеет общие компоненты с Метавселенной [38].

Картография играет ключевую роль на всех уровнях цифровых геопространственных экосистем, поскольку предоставляет инструменты и принципы для создания, навига-

ции и понимания как физических, так и виртуальных пространств. На основании изложенного можно сделать методологический вывод: *«Интеллектуализация картографии обусловлена и базируется на ее функционировании внутри цифровой геопространственной экосистемы как среды для моделирования и визуализации физического мира с использованием источников геопространственных данных, геоинформации, профессиональных геоинформационных и картографических знаний».*

Обсуждение

Анализ новых тенденций, примеров и успехов в использовании достижений 4-й индустриальной революции в картографии позволяет сделать вывод о начавшемся существенном преобразовании картографии, которое выходит за рамки как аналоговой, так и цифровой картографии. Отсюда важнейшей научной проблемой современного этапа развития картографии является отсутствие новой теоретической основы, соответствующей наступающей эпохе знаний и интегрирующей парадигмы классической (аналоговой) и цифровой картографии с новыми реалиями постцифровой картографии.

Для разрешения этой проблемы необходимо уточнить концепцию картографии в **технологическом** аспекте, определить цель предстоящих исследований, решить ряд задач и сформулировать основополагающие методологические принципы, положения и критерии.

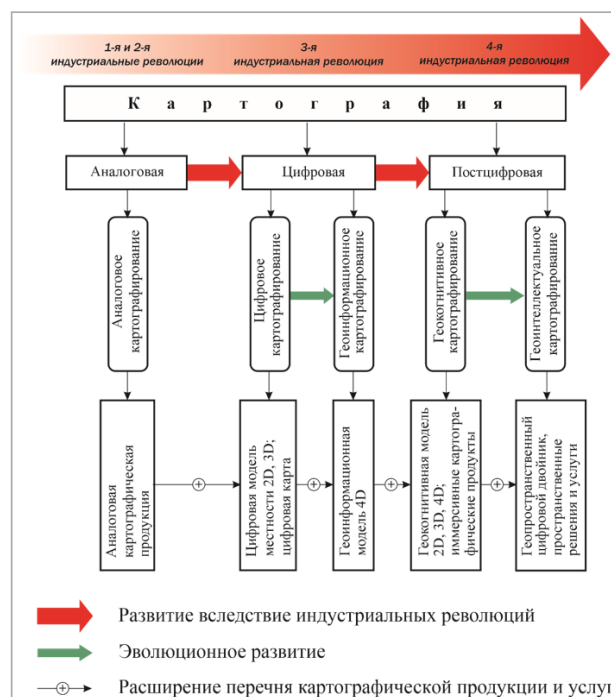
Наступление информационной эпохи привело к формированию новой генерации картографии – цифровой картографии и соответствующей концепции в картографии – геоинформационной. Наступление эпохи знаний ведет к новой генерации картографии – постцифровой картографии и поэтому требует формулирования новых концептуальных решений, и затем новой концепции.

Первыми шагами в этом направлении было введение новых концептуальных понятий: геокогнитивная технология [39, 40], геокогнитивное картографирование и геокогнитивная карта [41, 42], геокогнитивные методы и геокогнитивное моделирование [43]. Затем, в развитии этих предложений в диссертационном исследовании С. С. Янкелевич [44]

была обоснована геокогнитивная концепция геоинформатики и картографии, основанная на получении и использовании геопространственных знаний.

Однако выполненный автором анализ новых трендов, решений и предложений развития картографии на постцифровом этапе, а также сформулированные на его основе методологические выводы говорят о необходимости уточнения указанных геоинформационной и геокогнитивной концепций картографии и позволяют рассмотреть возможность формулирования новой **геоинтеллектуальной концепции**, которая рассматривает картографию как науку о картографическом моделировании, познании окружающей действительности и формировании пространственных решений на основе геопространственных данных, информации и знаний посредством технической реализации геопространственного интеллекта.

Обобщение перечисленных трендов и инноваций в картографии может быть схематично представлено как развитие картографирования в технологическом аспекте (рисунок). Знаком «плюс» показаны дополняющие виды продукции, сформировавшиеся в предыдущих периодах развития картографии.



Развитие картографирования в технологическом аспекте

Заключение

Картографическая наука находится на новом, революционном этапе своего развития, когда технологические достижения коренным образом меняют подходы к созданию и использованию карт. Развитие картографии, обусловленное сменой технологических эпох, прошло путь от аналоговых к цифровым методам и достигло современного постцифрового этапа.

Для этого этапа характерен переход от статичного моделирования к созданию динамических цифровых двойников, которые интегрируют потоки данных и алгоритмы машинного обучения для предиктивного анализа геосистем. Внедрение нейросетевых архитектур, способных к генерации карт в режиме реального времени, фактически ликвидирует временной промежуток между событием и его картографическим отображением. Иммерсивные технологии меняют способ восприятия картографической информации, создавая «суперизоморфную» модель, на которой карта и территория объединяются. Экосистемный подход ведет к трансформации карты в открытую самоорганизующуюся среду, обеспечивающую единство пространственных данных, высокопроизводительных вычислительных сервисов и междисциплинарных прикладных решений.

Все эти аспекты постцифровой картографии так или иначе основаны на технической реализации геопространственного интеллекта.

В геоинформационной концепции карта рассматривается как образно-знаковая геоинформационная модель, как инструмент передачи информации в цифровом виде, а также сформулирован метод геоинформационного картографирования. В геокогнитивной концепции обосновывается переход от геоинформационного к геокогнитивному картографиро-

ванию, основанному на комплексном использовании геопространственных данных, информации и знаний, а также предлагается метод геокогнитивного картографирования.

Следовательно, следующий эволюционный шаг картографии – это переход от передачи и хранения геопространственных данных, информации и знаний к их автономному осмыслению и выработке геопространственных решений на основе активного геопространственного интеллекта, который ведет к формированию новой геоинтеллектуальной концепции картографии.

Для ее осознания и принятия в качестве основы дальнейшего развития картографии необходимо пересмотреть, проанализировать и уточнить основные понятия и вопросы, к которым в первую очередь относятся:

- изменение роли карты, картографии и картографирования в рамках геопространственной индустрии в экономике и жизнедеятельности общества;
- развитие теоретических и методологических основ картографии в связи с интеллектуализацией картографирования;
- влияние новых источников геопространственных данных на процессы и результаты картографирования;
- изменение вида, содержания и функционала картографической продукции и услуг;
- изменение роли картографа и роли пользователя в процессах создания и использования картографической продукции и услуг;
- изменение инструментов, технологических процессов и сред картографирования и применения его результатов.

Ответы на поставленные вопросы могут послужить фундаментом для технологической трансформации картографии в целом и в первую очередь картографирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пошивайло Я. Г., Лисицкий Д. В. Формализация представления технологических процессов картографирования на основе системно-технического анализа. Информация и космос. 2023. № 2. С. 106–113. EDN RLIBGD.
2. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование. М. : МГУ, 1997. 288 с.
3. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. М. : КДУ, 2016.
4. Бешенцев А. Н. Геоинформационная концепция картографического метода исследования. Геодезия и картография. 2011. № 9. С. 31–37.

5. UN-GGIM URL: https://ggim.un.org/meetings/GGIM-committee/11th-Session/documents/Geospatial_Industry_Advancing_the_SDGs.pdf.
6. Андрюхина Ю. Н., Бугаков П. Ю., Касьянова Е. Л., Кацко С. Ю., Колесников А. А., Комиссарова Е. В., Лисицкий Д. В., Молокина Т. С., Радченко Л. К., Пошивайло Я. Г., Утробина Е. С., Янкевич С. С. Цифровая картография : монография / под научной редакцией Д. В. Лисицкого. Новосибирск : СГУГиТ, 2023. 442 с.
7. Шваб, К. Четвертая промышленная революция. М. : Эксмо, 2016. 138 с.
8. Cramer, F. (2014). What is Post-Digital? A Peer Reviewed Journal about Post-digital Research, 3(1), 10–24, <https://doi.org/10.7146/aprja.v3i1.116068>.
9. Кошкарев А. В. Инфраструктуры пространственных данных и очередные задачи картографии. Картография XXI века: теория, методы, практика : доклады II Всерос. науч. конф. по картографии, посвященной памяти Александра Алексеевича Лютого (Москва, 2–5 октября 2001 г.), М. : ИГ РАН, с. 137–144.
10. Зинчук Л. Н., Комедчиков Н. Н., Мартыненко А. И. [и др.] Современные направления развития картографии. Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2006. № 4. С. 14–19. EDN HVDZBR.
11. MacEachren A. M., Fräser Taylo D. R. Visualization in modern cartography. New York : Pergamon. 1994. 343 p.
12. S. Frangeš, N. Frančula, M. Lapaine: The Future of Cartography. January 2002 Kartografija i geoinformacije 1(1):7-21 https://www.researchgate.net/publication/279911278_The_Future_of_Cartography.
13. Matveyev, Sergey & Klimenko, Stanislav. Visualization & holography: Real Virtuality. Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 2002. 4665. 10.1117/12.458812.
14. Popovich V. Intelligent GIS Conceptualization. Information Fusion and Geographic Information Systems, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 2014. P. 17–44.
15. Бучкин В. А. Состояние и развитие интеллектуальных ГИС. Информация и космос. 2020. № 3. С. 119–123. EDN DSSPHP.
16. Глотов А. А. Интеллектуализация геоинформационных систем: подходы и направления. Геоматика. 2015. № 4. С. 18–24. EDN VCNGVV.
17. Gao, Song. 2020. A Review of Recent Researches and Reflections on Geospatial Artificial Intelligence. Geomatics and Information Science of Wuhan University 45 (12): 1865–1874, <https://doi.org/10.13203/j.whugis20200597>.
18. Zhang, Yongsheng, et al. 2021. Progress and Challenges of Geospatial Artificial Intelligence. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica 50 (9): 1137.
19. Li, W., Arundel, S., Gao, S., Goodchild, M., Hu, Y., Wang, S., & Zipf, A. (2024). GEOAI for science and the science of GEOAI. Journal of Spatial Information Science, 1–17, <https://doi.org/10.5311/josis.2024.29.349>.
20. Z. Li, H. Ning, S. Gao [et al.]. GIScience in the Era of Artificial Intelligence: A Research Agenda Towards Autonomous GIS 2025. URL : <https://arxiv.org/abs/2503.23633> (дата обращения: 12.12.2025).
21. Присяжнюк С. П., Комашинский В. И., Храбан А. В. На пути к когнитивным геоинформационным системам. Информация и Космос. 2025. № 3. С. 72–81.
22. Joshi, Satyadhar. (2025). Review of Autonomous and Collaborative Agentic AI and Multi- Agent Systems for Enterprise Applications. International Journal of Innovative Research in Engineering & Management. 12. 2350-0557. 10.55524/ijirem.2025.12.3.9.
23. 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.
24. Лисицкий Д. В. Картография в эпоху информатизации: новые задачи и возможности. География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 22–28. DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2016-4(22-28). EDN XEHPJL.
25. Farag, Alshimaa & Doheim, R. M. (2025). Geospatial digital twins: Applications in sustainable urban planning. DOI 10.1016/B978-0-443-33333-0.00009-0.

26. Iossa R., Domenighini P., Cotana F. (2025). Digital Twins from Building to Urban Areas: An Open Opportunity to Energy, Environmental, Economic and Social Benefits. *Applied Sciences*. 15. 10795. DOI 10.3390/app151910795.
27. Xu, Qinhong & Rogers, Sarah & Veldwisch, Gert Jan & Melsen, Lieke & Han, Xiao & Boelens, Rutgerd. (2025). Towards a critical understanding of digital twins: The politics of digitalizing rivers in China. *Environment and Planning E: Nature and Space*. 10.1177/25148486251386256.
28. Батырова К. С. Разработка методики создания и использования картографической продукции с элементами дополненной реальности : дис. ... канд. техн. наук : специальность 1.6.20. Геоинформатика, картография. Батырова Карпия Сериковна. Новосибирск, 2025. 130 с.
29. Pavelka Jr, Karel & Landa, Martin. (2024). Using Virtual and Augmented Reality with GIS Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 13. 241. 10.3390/ijgi13070241/.
30. Coetzee, Serena & Gould, Michael & McCormack, Bruce & Mohamed Ghouse, Zaffar & Scott, Greg & Knoch, Alexander & Alameh, Nadine & Strobl, Josef & Wytzisk, Andreas & Devarajan, Thirumalaivasan. (2021). Towards a sustainable geospatial ecosystem beyond SDIs. 10.13140/RG.2.2.22555.39203.
31. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография. Новосибирск : СГГА, 2004. 260 с.
32. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Электронное геопространство – сущность и концептуальные основы. *Геодезия и картография*. 2009. № 5. С. 41–44.
33. Присяжнюк С. П., Осипов Г. К. Сущность понятия «единое геоинформационное пространство» и принципы его формирования. *Информация и космос*. 2022. № 4. С. 175–178. EDN NQBAL.
34. International Society for Digital Earth. URL: <https://digitalearth-isde.org/>.
35. Annoni A. [и др.]. Digital earth: yesterday, today, and tomorrow [Электронный ресурс] *International Journal of Digital Earth* Volume 16, 2023 Issue 1. Раздел 5.2.1. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2023.2187467> (дата обращения: 28.11.2025).
36. Панин В. О. Концепции Цифровой Земли и метавселенной: их соотношение и тенденции развития. Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению «Графикон». 2023. № 33. С. 693–700. DOI 10.20948/graphicon-2023-693-700. EDN LOELIK.
37. Arnold, Lesley. (2022). Future Geospatial Information Ecosystem: From SDI to SoS and on to the Geoverse Making the Step Change Using the Integrated Geospatial Information Framework. 52 p.
38. Ball M. *The Metaverse: And How It Will Revolutionize Everything*. London: Liveright. 2022. 351 p.
39. Карпик А. П., Лисицкий Д. В., Байков К. С., Осипов А. Г., Савиных В. Н. Геопространственный дискурс опережающего и прорывного мышления. *Вестник СГУГиТ*. 2017. Т. 22, № 4-С. С. 53–67.
40. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Перспективные направления развития геодезической отрасли в условиях постиндустриальной эпохи и цифровой экономики. *Геодезия и картография*. 2019. Т. 80. № 4. С. 55–64. DOI 10.22389/0016-7126-2019-946-4-55-64.
41. Антонов Е. С. Геокогнитивные карты и технологии – новый этап в картографии. *Вестник СГУГиТ*. 2020. Т. 25, № 2. С. 140–150.
42. Янкелевич С. С. Технология геокогнитивного картографирования. Отходы и ресурсы. 2023. Т. 10 № 1. URL: <https://resources.today/PDF/05INOR123.pdf> DOI: 10.15862/05INOR123.
43. Карпик А. П., Лисицкий Д. В., Осипов А. Г., Савиных В. Н. Геокогнитивные методы обеспечения анализа и прогнозирования социально-экономического развития территорий. Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». DOI 10.35595/2414-9179-2021-2-27-128-140.
44. Янкелевич С. С. Разработка теории и методологии картографирования территорий на основе геопространственных знаний : специальность 1.6.20. Геоинформатика, картография : дис. ... д-ра техн. наук. Янкелевич Светлана Сергеевна. Новосибирск, 2024. 245 с.

REFERENCES

1. Poshivaylo Ya. G., Lisitsky D. V. (2023). Formalization of the representation of technological processes of mapping based on systems and technical analysis. *Informatsiya i kosmos [Information and space]*. No. 2. Pp. 106–113. EDN RLIBGD.
2. Berlyant, A. M. (1997). *Geoinformatsionnoye kartografirovaniye [Geoinformation mapping]*. Moscow: Moscow State University Publishing House, 288 p.
3. Lurye, I. K. (2016). *Geoinformatsionnoye kartografirovaniye [Geoinformation mapping]*. Moscow: KDU.
4. Beshentsev A. N. (2011). Geoinformation concept of the cartographic research method. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*. No. 9. Pp. 31–37.
5. UN-GGIM. Retrieved from https://ggim.un.org/meetings/GGIM-committee/11th-Session/documents/Geospatial_Industry_Advancing_the_SDGs.pdf.
6. Andryukhina Yu. N., Bugakov P. Yu., Kasyanova E. L., Katsko S. Yu., Kolesnikov A. A., Komissarova E. V., Lisitsky D. V., Molokina T. S., Radchenko L. K., Poshivaylo Ya. G., Utrobina E. S., Yankelevich S. S. (2023). *Tsifrovaya kartografiya [Digital cartography]*: monograph ; edited by D. V. Lisitsky. Novosibirsk: SGUGiT, 442 p. ISBN 978-5-907711-37-2.
7. Schwab, K. (2016). *Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya [The Fourth Industrial Revolution]*. Moscow: Eksmo. 138 p.
8. Cramer, F. (2014). What is Post-Digital? A Peer Reviewed *Journal about Post-digital Research*, 3(1), 10–24, <https://doi.org/10.7146/aprja.v3i1.116068/>.
9. Koshkarev, A. V. (2001). Spatial data infrastructures and the next tasks of cartography. *Kartografiya XXI veka: teoriya, metody, praktika: Doklady II Vseros. nauch. konf. po kartografii, posvyashchennoy pamyati Aleksandra Alekseyevicha Lyutogo [Cartography of the XXI century: theory, methods, practice: Reports of the II All-Russian scientific conf. in Cartography, dedicated to the memory of Alexander Alekseevich Lyuty]* (Moscow, October 2-5, 2001), IG RAS Moscow, pp. 137–144.
10. Zinchuk L. N., Komedchikov N. N., Martynenko A. I. [et al.] (2006). Modern Directions in the Development of Cartography. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya. [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography]*. No. 4. Pp. 14–19. EDN HVDZBR.
11. MacEachren A. M., Fräser Taylo D. R. (1994). *Visualization in modern cartography*. New York : Pergamon. 343 p.
12. S. Frangeš, N. Frančula, M. Lapaine: The Future of Cartography. *January 2002 Kartografija i geoinformacije* 1(1):7-21 https://www.researchgate.net/publication/279911278_The_Future_of_Cartography.
13. Matveyev, Sergey & Klimenko, Stanislav. (2002). Visualization & holography: Real virtuality. *Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering*. 4665. 10.1117/12.458812.
14. Popovich V. (2014). Intelligent GIS Conceptualization. *Information Fusion and Geographic Information Systems, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, P. 17–44.
15. Buchkin, V. A. (2020). State and Development of Intelligent GIS. *Informatsiya i kosmos [Information and Space]*. No. 3. P. 119–123. EDN DSSPHP.
16. Glotov, A. A. (2015). Intellectualization of Geoinformation Systems: Approaches and Directions. *Geomatika [Geomatics]*. No. 4. Pp. 18–24. EDN VCNGVV.
17. Gao, Song. (2020). A Review of Recent Researches and Reflections on Geospatial Artificial Intelligence. *Geomatics and Information Science of Wuhan University* 45 (12): 1865–1874, <https://doi.org/10.13203/j.whugis20200597>.
18. Zhang, Yongsheng, et al. (2021). Progress and Challenges of Geospatial Artificial Intelligence. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica* 50 (9): 1137.

19. Li, W., Arundel, S., Gao, S., Goodchild, M., Hu, Y., Wang, S., & Zipf, A. (2024). GEOAI for science and the science of GEOAI. *Journal of Spatial Information Science*, 1–17. <https://doi.org/10.5311/josis.2024.29.349>.
20. GIScience in the Era of Artificial Intelligence: A Research Agenda Towards Autonomous GIS / Z. Li, H. Ning, S. Gao [et al.]. 2025. URL : <https://arxiv.org/abs/2503.23633> (дата обращения: 12.12.2025).
21. Prisyazhnyuk S. P., Komashinsky V. I., Khraban A. V. (2025). Towards cognitive geographic information systems. *Informaciya i Kosmos [Information and space]*. No 3. Pp. 72–81.
22. Joshi, Satyadhar. (2025). Review of Autonomous and Collaborative Agentic AI and Multi-Agent Systems for Enterprise Applications. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management*. 12.2350-0557. 10.55524/ijirem.2025.12.3.9.
23. Loginov, D. S. (2025). Formalization of the Selection of the Result of Cartographic Support for Scientific and Industrial Activities. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]*. Vol. 30, No. 5. Pp. 58–67. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-58-67.
24. Lisitsky D. V. (2016) Cartography in the Information Age: New Challenges and Opportunities. *Geografiya i prirodnyye resursy [Geography and Natural Resources]*. No. 4. Pp. 22–28. DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2016-4(22-28). EDN XEHPJL.
25. Farag, Alshimaa & Doheim, R. M. (2025). 22. 10.1016/B978-0-443-33333-0.00009-0.
26. Iossa R., Domenighini P., Cotana F. (2025). Digital Twins from Building to Urban Areas: An Open Opportunity to Energy, Environmental, Economic and Social Benefits. *Applied Sciences*. 15. 10795. DOI 10.3390/app151910795.
27. Xu, Qinhong & Rogers, Sarah & Veldwisch, Gert Jan & Melsen, Lieke & Han, Xiao & Boelens, Rutgerd. (2025). Towards a critical understanding of digital twins: The politics of digitalizing rivers in China. *Environment and Planning E: Nature and Space*. DOI 10.1177/25148486251386256.
28. Batyrova K. S. (2025). Development of methods for creating and using cartographic products with elements of augmented reality: specialty 1.6.20. Geoinformatics, cartography: dissertation for the degree of candidate of technical sciences; Siberian State University of Geosystems and Technologies. Novosibirsk. 130 p.
29. Pavelka Jr., Karel & Landa, Martin. (2024). Using Virtual and Augmented Reality with GIS Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 13. 241. 10.3390/ijgi13070241.
30. Coetzee, Serena & Gould, Michael & McCormack, Bruce & Mohamed Ghouse, Zaffar & Scott, Greg & Kmoch, Alexander & Alameh, Nadine & Strobl, Josef & Wytzisk, Andreas & Deva-
rajan, Thirumalaivasan. (2021). Towards a sustainable geospatial ecosystem beyond SDIs. 10.13140/RG.2.2.22555.39203.
31. Karpik, A. P. (2004). *Metodologicheskiye i tekhnologicheskiye osnovy geoinformatsionnogo obespecheniya territoriy [Methodological and technological foundations of geoinformation support of territories]*: Monograph. Novosibirsk: SGGa, 260 p.
32. Karpik, A. P., Lisitsky D. V. (2009). Electronic geospace – essence and conceptual foundations *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*. No. 5. P. 41–44.
33. Prisyazhnyuk, S. P., Osipov G. K. (2022). The essence of the concept of “single geoinformation space” and the principles of its formation. *Informatsiya i kosmos [Information and space]*. No. 4. P. 175–178. EDN NQBAL.
34. International Society for Digital Earth. Retrieved from <https://digitalearth-isde.org/>.
35. Annoni A. [et al.] (2023). Digital earth: yesterday, today, and tomorrow. *International Journal of Digital Earth* Volume 16, issue 1. Section 5.2.1. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2023.2187467> (accessed: 28.11.2025).
36. Panin, V. O. (2023). Concepts of the Digital Earth and the Metaverse: Their Relationship and Development Trends. *Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii po komp'yuternoy grafike i zre-niyu "Grafikon" [Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Vision "Graphicon"]*. No. 33. P. 693–700. DOI 10.20948/graphicon-2023-693-700. EDN LOELIK.

37. Arnold, Lesley. (2022). Future Geospatial Information Ecosystem: From SDI to SoS and on to the Geoverse: Making the Step Change Using the Integrated Geospatial Information Framework. 52 p.
38. Ball, M. (2022). *The Metaverse: And How It Will Revolutionize Everything*. London: Liveright. 351 p.
39. Karpik, A. P., Lisitsky, D. V., Baikov, K. S., Osipov, A. G., Savinykh, V. N. (2017). Geospatial Discourse of Advanced and Breakthrough Thinking. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]*. Vol. 22, No. 4-S. P. 53-67.
40. Karpik A. P., Lisitsky D. V. (2019). Promising Directions for the Development of the Geodetic Industry in the Post-Industrial Era and Digital Economy. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*. Vol. 80. No. 4. P. 55–64. DOI 10.22389/0016-7126-2019-946-4-55-64
41. Antonov E. S. (2020). Geocognitive Maps and Technologies – a New Stage in Cartography. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]*. Vol. 25, No. 2.
42. Yankelevich, S. S. (2023). Geocognitive Mapping Technology *Waste and Resources*. V. 10 No. 1 Retrieved from <https://resources.today/PDF/05INOR123.pdf>. DOI 10.15862/05INOR123
43. Karpik A. P., Lisitsky D. V., Osipov A. G., Savinykh V. N. Geocognitive methods for supporting analysis and forecasting of the socio-economic development of territories. *Mezhdunarodnoy konferentsii "InterKarto. InterGIS"*. [Proceedings of the International Conference "InterCarto. InterGIS"]. DOI 10.35595/2414-9179-2021-2-27-128-140.
44. Yankelevich S. S. (2024). Development of the theory and methodology of mapping territories based on geospatial knowledge: specialty 1.6.20. Geoinformatics, cartography: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences; Siberian State University of Geosystems and Technologies. Novosibirsk. 245 p.

Об авторах

Ярослава Георгиевна Пошивайло – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой картографии и геоинформатики.

Author details

Yaroslava G. Poshivaylo – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Cartography and Geoinformatics.

Получено / Received 23.12.2025

Поступила после рецензирования / Revised 27.02.2026

Принята к публикации / Accepted 12.03.2026

Научно-практическая статья/Research article

УДК 528.91+[681.78:004.932.4]

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-121-130>

**Разработка ГИС-сервиса для тематической обработки данных
гиперспектральных и мультиспектральных оптико-электронных систем**

*А. В. Трофимова*¹✉

¹ Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный, Российская Федерация

e-mail: trofimova.anna@phystech.edu

Аннотация. В статье представлены результаты разработки цифрового геосервиса (ГИС-сервиса) для обработки данных дистанционного зондирования Земли, полученных с помощью гипер- и мультиспектральной аппаратуры. Сервис разработан в формате прототипа (MVP) с минимальным набором функций на основе объектно-ориентированного подхода. Основная задача сервиса заключается в автоматизированной тематической обработке разновременных данных космических аппаратов Landsat-8, EO-1, Sentinel-2 и НА «Гиперспектрометр». Реализованы функции расчета спектральных индексов и сегментации изображений подстилающей поверхности, что подтверждает потенциал дальнейшего расширения функционала. Ограничениями текущей реализации являются отсутствие контейнеризации с использованием Docker, применение базового пакетного менеджера `pip` вместо продвинутых решений (`poetry`, `uv`), отсутствие хранилищ класса S3. В заключении подчеркивается, что предложенный подход и архитектура могут быть использованы для создания аналогичных сервисов. В будущем возможно внедрение новых методов машинного обучения и нейросетевых алгоритмов сегментации, а также проведение наземной валидации для оценки точности результатов тематической обработки.

Ключевые слова: архитектура геосервисов, индексы

Для цитирования:

Трофимова А. В. Разработка ГИС-сервиса для тематической обработки данных гиперспектральных и мультиспектральных оптико-электронных систем. *Вестник СГУТиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 121–130. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-121-130>

**GIS-based service for thematic processing of hyperspectral and multispectral
optoelectronic data**

*A. V. Trofimova*¹✉

¹ Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russian Federation

e-mail: trofimova.anna@phystech.edu

Abstract. The article presents the development of a GIS-based service for processing Earth observation data acquired by hyperspectral and multispectral optoelectronic systems. The service was implemented as a minimum viable product, employing an object-oriented software architecture. The primary objective of the service is automated thematic processing of multi-temporal data from the Landsat-8, EO-1, and Sentinel-2 satellites, as well as from the Hyperspectrometer spaceborne payload. Implemented functionalities include spectral index computation and segmentation of the underlying

surface, demonstrating the feasibility of subsequent functional expansion. Current limitations of the service include the absence of Docker-based containerization, reliance on the basic pip package manager rather than advanced alternatives (poetry, uv), and lack of S3-compatible object storage. The authors conclude that the proposed approach and architecture provide a viable foundation for developing analogous geoservices. Future work may involve integration of advanced machine learning methods and deep learning-based segmentation algorithms, as well as ground-based validation to assess the accuracy of thematic processing results.

Keywords: geoservice architecture, indices

For citation:

Trofimova A. V. (2026) GIS-based service for thematic processing of hyperspectral and multispectral optoelectronic data. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 121–130. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-121-130>

Введение

За последние десятилетия накопился огромный объем спутниковых снимков, как многоспектральных, так и гиперспектральных. Заинтересованность в их использовании растет. Анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяет решать множество задач различных отраслей экономики, проводить мониторинг чрезвычайных ситуаций, оценку экологического состояния среды и ее изменчивости, в том числе в труднодоступных районах.

Необходимость создания облачных платформ во многом определяется растущими объемами данных, получаемых с российских и зарубежных космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли, расширением перечня прикладных задач пользователей, решаемых с привлечением методов ДЗЗ [1]. В настоящее время существуют пользовательские геосервисы, геопорталы, позволяющие получить разновременные данные с различных спутников на выбранную территорию.

Например, «Вега» – семейство информационных систем дистанционного мониторинга, состоящее из системы Вега-Pro и Вега-Science от ИКИ РАН. Обработка получаемых спутниковых данных проходит полностью автоматически, что позволяет ежедневно осуществлять обновление информации [2, 3]. Принципиальная разница между сервисами Вега-Pro и Вега-Science в том, что Вега-Science не предполагает коммерческого ис-

пользования. В остальном оба сервиса имеют похожий интерфейс и функционал. Однако демонстрационные версии не позволяют скачивать спутниковые снимки, продукты, полученные на их основе.

Проект «Цифровая земля» разработан компанией АО «Терра Тех» [4]. Он представляет собой набор сервисов, предназначенных для обеспечения пользователей цифровыми аналитическими продуктами о хозяйственной деятельности в масштабах РФ на основе данных ДЗЗ [5]. Обработка данных происходит автоматизированно с использованием нейронных сетей, статистического анализа и экспертного контроля данных. Работа в системе осуществляется по индивидуальному или коллективному доступу через геоинформационный веб-портал.

Google Earth Engine (GEE) [6] и Microsoft Planetary Computer (MPC) [7] предоставляют доступ к глобальным архивам спутниковых данных и инструментам анализа. Однако полный функционал доступен только в облаке, существуют ограничения на загрузку пользовательских данных и вычислительную интенсивность. В случае MPC использование масштабных вычислений требует платных сервисов Azure, что снижает доступность для исследователей без устойчивого финансирования.

В зарубежной литературе подчеркивается значимость интеграции данных ДЗЗ и методов машинного обучения для отслеживания статуса выполнения проектов, направленных на достижение «Целей устойчивого развития ООН» (11, 13–15 цели), что указано в работе

Ferreira D. и Zhao X [8, 9]. A. Velastegui-Montoya делает вывод о том, что облачные платформы позволяют эффективно работать с большими массивами данных, включая анализ природных систем – землепользования, почвенно-растительного покрова [10].

Веб-ГИС-платформы, такие как EO Browser, предоставляют доступ к архивам Sentinel-2, Landsat и других спутников с возможностью визуализации и расчета спектральных индексов [11]. Аналогичные решения, например, ARCHIMEDE, способствуют распространению географической информации и поддерживают разработку стратегий управления прибрежными территориями, что в своей статье доказывают A. Kushabaha и др. [12]. Развитие сервисов обработки данных ДЗЗ за рубежом подтверждает их высокую актуальность для решения как глобальных, так и региональных задач природопользования и экологического мониторинга.

Таким образом, при анализе востребованных сервисов был сделан вывод о том, что большинство отечественных геосервисов предоставляют данные и результаты их обработки преимущественно платно или в режиме демо-доступа, предназначены для визуализации данных среднего и высокого пространственного разрешения в целях экологического, хозяйственного мониторинга, прикладных и научных задач. В качестве исходных данных у рассмотренных сервисов распространены данные спутников Landsat-8, -9 и Sentinel-2. Однако доступ к данным гиперспектральной съемки, например, к данным «Ресурса-П», закрыт для широкого круга пользователей, так как требует разрешения компании «Роскосмос». Практически отсутствуют результаты тематической обработки гиперспектральных снимков.

Целью исследования является создание такого цифрового продукта с минимальным набором функций (MVP), который бы функционировал бесплатно, предоставлял данные ДЗЗ, полученные с помощью мультиспектральной аппаратуры (МСА) и гиперспектральной аппаратуры (ГСА), и в автоматическом режиме рассчитывал наиболее популярные индексы по запросу пользователя (нормализованный относительный вегетационный

индекс, нормализованный относительный водный индекс, нормализованный относительный снежный индекс), проводил сегментацию изображений подстилающей поверхности (на основе рассчитанных индексов, представленных в формате растров: нормализованного относительного вегетационного индекса, нормализованного относительного водного индекса и нормализованного относительного индекса городской застройки (NDBI)) с выделением типов подстилающей поверхности для разновременных данных, поступающих с различных КА, и архитектура которого позволяет развивать его в дальнейшем. Температура подстилающей поверхности (LST) может быть вычислена в настольных ГИС. Однако этот процесс требует от пользователя последовательного выполнения ряда операций: загрузки спутниковых данных, их предварительной обработки и последующего вычисления индекса. Ранее в QGIS был реализован Land Surface Temperature QGIS Plugin, но с 2024 г. наблюдается ограничение доступа со стороны NASA к калькулятору атмосферной коррекции (Atmospheric Correction Parameter Calculator) для расчета нисходящей и восходящей радиации. В данном сервисе впервые реализован автоматический расчет LST (при рассмотрении продуктов, находящихся в открытом доступе).

Методы и материалы

Геосервис – это веб-сервис, предоставляющий возможность выполнять операции с пространственными данными, содержащимися в наборах пространственных данных, или со связанными с ними метаданными. Для обоснования технологий и инструментов, необходимых для создания сервиса, были рассмотрены информационные продукты, часто предоставляемые современными сервисами ДЗЗ:

1) традиционные RGB-снимки (композит зеленого, красного, синего каналов), снимки в псевдоцветах (композит зеленого, красного и инфракрасного каналов), полученные мультиспектральной камерой;

2) карты нормализованного относительного вегетационного индекса (NDVI), постро-

енные на основе снимков красного и коротковолнового инфракрасного диапазонов и определяемого на примере сервиса EO Browser по формуле

$$\frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)} = \frac{(DN_{842\text{нм}} - DN_{665\text{нм}})}{(DN_{842\text{нм}} + DN_{665\text{нм}})}, \quad (1)$$

где $B8$ – узкий ближний инфракрасный канал; $B4$ – красный канал; $DN_{842\text{нм}}$ – числовое значение яркости элемента изображения на длине волны 842 нм; $DN_{665\text{нм}}$ – числовое значение яркости элемента изображения на длине волны 665 нм;

3) карты нормализованного относительного водного индекса (NDWI), построенные на основе снимков двух инфракрасных каналов, определяемого на примере сервиса EO Browser по формуле

$$\frac{(B8A - B11)}{(B8A + B11)} = \frac{(DN_{865\text{нм}} - DN_{1610\text{нм}})}{(DN_{865\text{нм}} + DN_{1610\text{нм}})}, \quad (2)$$

где $B8A$ – узкий ближний инфракрасный канал; $B11$ – коротковолновой инфракрасный канал; $DN_{865\text{нм}}$ – числовое значение яркости элемента изображения на длине волны 865 нм; $DN_{1610\text{нм}}$ – числовое значение яркости элемента изображения на длине волны 1 610 нм;

4) карты нормализованного относительного снежного индекса (NDSI), построенные на основе снимков зеленого и коротковолнового инфракрасного диапазонов, определяемого на примере сервиса EO Browser по формуле

$$\frac{(B3 - B11)}{(B3 + B11)} = \frac{(DN_{560\text{нм}} - DN_{1610\text{нм}})}{(DN_{560\text{нм}} + DN_{1610\text{нм}})}, \quad (3)$$

где $B3$ – синий канал; $B11$ – коротковолновой инфракрасный канал; $DN_{560\text{нм}}$ – числовое значение яркости элемента изображения на длине волны 560 нм; $DN_{1610\text{нм}}$ – числовое значение яркости элемента изображения на длине волны 1 610 нм.

В качестве исходных сведений для расчета информационных продуктов наиболее встречающимися являются данные видимого, ближнего и коротковолнового инфракрас-

ного каналов. Для написания внутренней части сервиса были взяты рассмотренные выше спектральные индексы с условием соответствия каналов, корректных для имеющихся в открытом доступе КА.

При анализе нормативной документации установлено, что базовые сервисы на основе данных ДЗЗ из космоса должны обеспечивать реализацию следующих возможностей: поиска данных ДЗЗ из космоса, визуализации данных ДЗЗ из космоса, автоматизированного ведения расчетов, загрузки (получения) данных ДЗЗ из космоса. Это необходимо учитывать при планировании проектов. Сервис обработки и анализа данных ДЗЗ из космоса необходимо реализовать в виде веб-сервиса с веб-интерфейсом на аппаратно-программном обеспечении с использованием виртуальных машин на базе серверной инфраструктуры и вычислительных модулей с возможностью параллельной обработки.

Результаты и обсуждение

Архитектура была выбрана типа «клиент – сервер», так как она позволяет выполнять требования к составу и характеристикам данных ДЗЗ в соответствии с актуальными для пользователя потребностями [13]. В качестве шаблона проектирования был выбран паттерн MVC [14].

Взаимодействие в проекте осуществляется через обмен данными между фронтендом и бэкендом с помощью фреймворка с Django (рис. 1). Оно включает в себя использование AJAX-запросов для отправки данных с клиентской стороны (фронтенд) и получения ответов от сервера (бэкенд) [15].

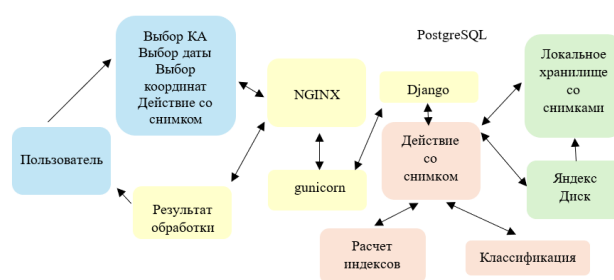


Рис. 1. Архитектура внутренней части сервиса

Алгоритмическая обработка снимков, поступающих с космических аппаратов, проводится с помощью библиотеки `tiff` [16]: программа считывает исходные растровые файлы и переводит их в формат, удобный для попиксельных математических действий с ними. В текущей реализации сервиса библиотека `tiff` была выбрана ввиду ее компактного и удобного интерфейса. На данном этапе осуществляется открытие и запись GeoTIFF-файлов в базу данных, для этих целей возможностей `tiff` достаточно. Гиперспектральные снимки поставляются в виде архива растров отдельных спектральных каналов, каждый из которых имеет небольшую ширину (около 10 нм). Чтобы вычислить вышеуказанные индексы, нужно получить из исходного архива изображения, соответствующие нужным диапазонам длин волн (красному, синему, зеленому, инфракрасному, дальнему инфракрасному). Для каждого диапазона числового значения яркости известны границы длин волн [L_{min} , L_{max}]. Для этого используются функции `lambda2num(L)` и `lambda2img(L)`. Данные искомым файлам попиксельно усредняются по среднему из выборки в рамках необходимых для расчета индексов диапазонов. Для всех последующих математических действий растровые изображения конвертируются в числовые массивы при помощи библиотеки `numpy` [17]. Следует отметить, что для мультиспектральных изображений вышеуказанная операция усреднения не требуется, поскольку в их случае изображения предоставляются поканально в исходных архивах. Индексные изображения получаются из мультиспектральных и гиперспектральных снимков при помощи простых математических действий, выполняемых попиксельно.

Алгоритм сегментации изображений заключается в следующем:

- 1) выделяется фон по пиксельной маске любого канала (в геосервисе выбран коротковолновой инфракрасный канал);
- 2) рассчитывается индекс NDVI и те пиксели, значения NDVI в которых больше либо равны 0,25 считаются растительностью;
- 3) считается индекс NDWI и те пиксели, NDWI в которых больше 0 считаются водой;

4) отбираются пиксели, не принадлежащие ни одному из вышеперечисленных классов. Для них считается индекс NDBI, и, если значение NDBI больше 0, то алгоритм считает это зоной городской застройки.

По итогу классификации выделяется 4 класса: город, растительность, водные объекты и не вошедшие ни в один класс пиксели. Для обработки снимков используется библиотека `numpy`.

Для размещения снимков, поступающих с космических аппаратов, и сопутствующих к ним данных (метаданных) выбран отечественный сервис Яндекс.Диск [18, 19] ввиду его доступности и экономичности. Взаимодействие с Яндекс.Диском происходит с использованием `YaDisk` – библиотеки-клиента REST API Яндекс.Диска. С помощью нее можно загружать файлы в облачное хранилище, скачивать их из хранилища, управлять ими в нем. Становится возможным эффективнее распоряжаться дисковым пространством сервера, снижая требования к объему необходимой постоянной памяти и уменьшая количество обращений к ней. Хранение большей части информации в облаке упрощает миграцию сервиса на другой сервер в случае необходимости.

Для реализации описанного подхода был получен OAuth-токен на Яндекс.Диске и разработан отдельный класс функций для внутренней части сервиса, объединяющий в себе функции взаимодействия с Яндекс.Диском, такие как загрузка в хранилище и скачивание из него, удаление файла из хранилища и проверка существования файла. Все функции имеют две реализации – синхронную и асинхронную.

В программе используются две базы данных: `images_db` и `metrics_db` (для обезличенного отслеживания кликов по снимкам), созданные при помощи PostgreSQL. База данных `images_db` используется для хранения сведений обо всех загруженных изображениях. Она включает в себя следующие модели:

- 1) `Image` – описывает снимок, поступающий с КА. Содержит название, путь к файлу в локальном хранилище, описание, дату загрузки, размер, расширение, метки (`tags`), время съемки и координаты углов;

2) `RelatedRemoteFile` – описывает файл в облачном хранилище Яндекс.Диск. Содержит внешний ключ на модель `Image` (связь один ко многим), путь к файлу в облачном хранилище, имя файла, размер, расширение и дату загрузки;

3) `RelatedLocalFile` – описывает файл в локальном хранилище. Содержит внешний ключ на модель `Image` (связь один ко многим), путь к файлу в локальном хранилище, имя файла, размер, расширение, дату загрузки и версию функции расчета индекса.

При загрузке оператором снимков в программу происходит цепочка процессов. Через представление Django на сервер отправляется POST-запрос от оператора, содержащий основное изображение снимка, сопутствующие файлы (изображения разных спектральных каналов, метаданные), название снимка, описание и метки (перечисляются через запятую, обязательно содержат название КА). В локальное хранилище сохраняется основное изображение, а в базу данных (БД) записывается модель `Image`. Далее производится прохождение по всем сопутствующим файлам, производятся все доступные в программе процедуры обработки снимков, результаты которых сохраняются в локальное хранилище (далее кэш). На каждый результат обработки также создается модель `RelatedLocalFile`. Среди сопутствующих файлов ищется файл с метаданными в формате, соответствующем спутнику, указанному в метках изображения (tags). В случае нахождения нужного файла из него сохраняется необходимая информация (координаты углов, время съемки и др.). Все сопутствующие файлы загружаются в облачное хранилище, создаются модели `RelatedRemoteFile`. Чтобы оперативно предоставлять пользователю результаты обработки снимков, вся обработка происходит в момент, когда оператор загружает снимок в программу. Результаты обработки сохраняются в локальное хранилище.

Когда пользователь хочет получить какой-либо результат обработки, то происходит, во-первых, отправка POST-запроса, содержащего название функции требуемой обработки на сервер, во-вторых, сервер проверяет в БД наличие результата требуемой обработки для

данного снимка. Если результат обработки по какой-то причине не найден, то расчет происходит заново. При наличии результата проверяется соответствие версии функции, использованной для расчета (поле `index_version` в БД). Если номер версии отличается от того, который указан в актуальном коде функции, то расчет производится заново. Описанная система кэширования и контроля версий позволяет уменьшить среднее время ожидания пользователя.

Для размещения разработанного веб-приложения в сети Интернет необходим сервер с публичным IP-адресом. Работа сервиса осуществляется на сервере, арендованном у российской компании Selectel [20]. Для работы сервиса был арендован сервер с 4 CPU ядрами, 16 ГБ оперативной памяти и операционной системой Linux Ubuntu 20.04.

Веб-сервер использовался nginx, он принимает и обрабатывает HTTP-запрос браузера, после чего передает его на сторону сервера-приложения gunicorn. Nginx помогает снижать нагрузку на сервер при обработке файлов, кэшировать данные, балансировать нагрузку, что повышает отказоустойчивость. Сервер приложения gunicorn получает данные от nginx, разбирает их и, исходя из своей конфигурации, передает данные в созданное приложение на базе Django по протоколу WSGI. Django обрабатывает полученные данные, формирует запрос к базе данных в PostgreSQL и передает результат работы обратно в gunicorn, а он в свою очередь отдает результат в nginx, возвращающий пользователю готовую HTML-страницу [21–23]. Данное сочетание технологий уже доказывало свою эффективность в приложениях.

В сервисе аутентификация и авторизация пользователей не реализованы, так как доступ представлен в открытом режиме. При этом выполняется базовая валидация входных данных: проверка корректности формата временных интервалов, геометрии полигона и выбора спутникового аппарата. Архитектура сервиса исключает возможность SQL-инъекций – динамические запросы к базе данных не используются, а доступ к ней защищен через закрытые параметры конфигурации (для коммерческого использования рекомендуется внедрить полно-

ценные механизмы аутентификации, авторизации и защиты данных).

Примеры рассчитанных индексов для данных, полученных с помощью мультиспектральных и гиперспектральных съемочных систем, в разработанном ГИС-сервисе представлены на рис. 2 и 3.

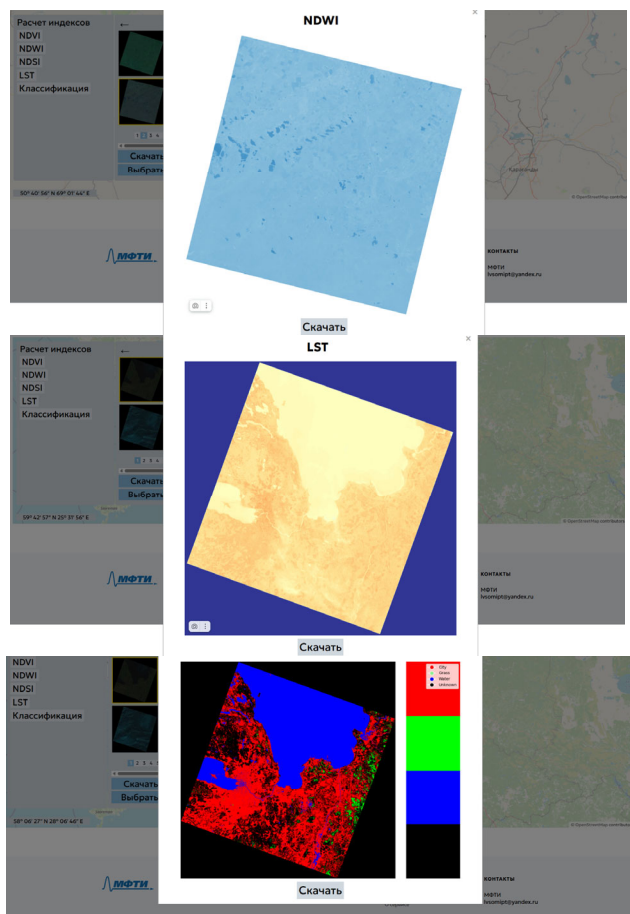


Рис. 2. Индексы NDWI, LST и сегментация для Landsat-8

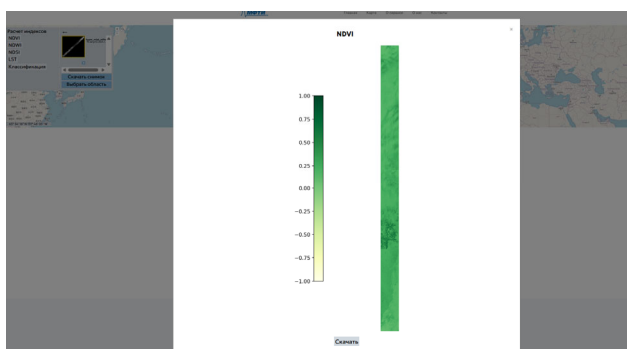


Рис. 3. Индекс NDVI для НА «Гиперспектрометр»

Ограничениями данной работы служит отсутствие контейнеризации при помощи docker, так как создание и дальнейший локальный запуск геосервисов могут производиться на различных операционных системах (ОС); вследствие этого одна и та же версия библиотек может работать по-разному. Чтобы этого не происходило, необходимо поместить сервис в контейнер для его дальнейшей работы в других ОС. Также в данном геосервисе используется `pip` – пакетный менеджер вместо продвинутых `poetry` или `uv`. Если использовать их, то настройка среды будет выполняться оптимизированно, что повысит производительность программного обеспечения. Применение стандартизированных решений класса S3 для организации хранилищ возможно при дальнейшем совершенствовании сервиса.

Описанный в данной работе подход для создания геосервисов, в том числе и MVP, может быть полезен с точки зрения рассмотрения практического опыта проектирования и разработки сервисов обработки снимков ДЗЗ, опыта автоматизации обработки снимков, выбора архитектуры и набора технологий реализации геосервиса. Предложенная архитектура сервиса основана на базовых решениях для того, чтобы избежать избыточной сложности и обеспечить надежность системы. Вместе с тем потенциал заложенной архитектуры предполагает возможность ее дальнейшего расширения – по мере увеличения функционала сервиса она будет адаптироваться и усложняться при необходимости. Репозиторий с кодом не размещен в общий доступ в целях безопасности и конфиденциальности, но может быть выдан по запросу.

Заключение

Таким образом был создан и развернут бесплатный геосервис для обработки данных ДЗЗ, использующий открытые мультиспектральные данные и информацию, поступающую с отечественного гиперспектрального прибора на борту МКС. Были описаны методологические подходы, возможные для применения в аналогичных проектах. Стоит отметить, что при реализации следующих геосервисов необходимо внедрение контейнеризации, новых

пакетных менеджеров и методов сегментации, как традиционных методов машинного обучения: k-NN, SVM, RF, так и нейросетевых: 3D-Hyper-UNET, DCCaps-UNet [24] с вычислением их метрик. Это поможет верифицировать точность результатов обработки, полученных разными методами. Целесообразно также проведение наземной валидации спутниковых измерений – для оценки качества сегментации, классификации. На текущем этапе развития

сервиса сегментация рассматривается как вспомогательный инструмент визуализации результатов тематической обработки, исследование вопросов ее валидации является частью дальнейших исследований.

Благодарности

Выражается благодарность фонду НТИ, ПАО «РКК «Энергия», АО «НПО «ЛЕПТОН».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Емельянов А. А., Ерешко М. В., Сизова О. С., Борисов А. В. Обзор современных облачных платформ обработки и аналитики данных ДЗЗ и информационных продуктов на их основе. Исследование Земли из космоса. 2022. № 2. С. 72–87.
2. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А. Система «Вега-Science»: особенности построения, основные возможности и опыт использования. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 6. С. 9–31.
3. Денисов П. В., Лупян Е. А., Толпин В. А., Трошко К. А. Спутниковый сервис «Вега-PRO» для сельскохозяйственного мониторинга. Управление рисками в АПК. 2021. № 1(39). С. 22–36.
4. Цифровая Земля. [Электронный ресурс] URL: <https://dgearth.ru/> (дата обращения: 01.07.2024).
5. Шаймарданов Д. А., Атнабаев А. Ф., Мухаметов Д. И., Павлова Л. Г. Состояние и перспективы использования данных дистанционного зондирования Земли для обнаружения природных пожаров. Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10, № 7. С. 77–81.
6. Google. Google Earth Engine: planetary-scale platform for Earth science data & analysis URL: <https://earthengine.google.com> (дата обращения: 18.09.2024).
7. Microsoft. Microsoft Planetary Computer: cloud-based geospatial data access and analysis platform URL: <https://planetarycomputer.microsoft.com> (дата обращения: 18.09.2024).
8. Ferreira, B., Iten, M. & Silva, R.G. et al. (2020). Monitoring sustainable development by means of earth observation data and machine learning: a review. Environmental Sciences Europe, 32, 120.
9. Qiang Zhao, Le Yu Remote sensing applications for assessing progress toward sustainable development goals. Journal of Remote Sensing, 2025. 5 (0403).
10. Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., Rivera-Torres, H., Sadeck, L., & Adami, M. Google Earth Engine: A Global Analysis and Future Trends. Remote Sensing, 2023. 15(14), 3675.
11. EO Browser. URL: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/> (дата обращения: 20.09.2024).
12. Kushabaha, A., Scardino, G., Sabato, G., Miglietta, M. M., Flaounas, E., Monforte, P., Marsico, A., De Santis, V., Borzi, A. M., & Scicchitano, G. ARCHIMEDE – An Innovative Web-GIS Platform for the Study of Medicanes. Remote Sensing, 2024. 16(14), 2552.
13. Зеленцов В. А. Архитектура и примеры реализации информационной платформы для создания и предоставления тематических сервисов с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Труды СПИИРАН. 2017. № 6. С. 86–113.
14. Ahmad, S. I., Rana, T., & Maqbool, A. A Model-Driven Framework for the Development of MVC-Based (Web) Application. Arabian Journal for Science and Engineering, 2022. 47(2), 1733–1747.
15. Kipkemboi, W., Kuria, B. T., Kuria, D. N., Sichangi, A. W., Mundia, C. N., Wanjala, J. A., Rienow, A. Development of a Web-GIS Platform for Environmental Monitoring and Conservation of the Muringato Catchment in Kenya. Journal of Geovisualization and Spatial Analysis, 2023. 7(1).
16. Christoph Gohlke. cgohlke/tiff: v2025.3.13 (v2025.3.13). Zenodo. 2025.

17. NumPy. URL: <https://numpy.org/> (дата обращения: 01.10.2024).
18. Яндекс. Диск. URL: <https://yandex.ru/dev/disk/> (дата обращения 11.10.2024).
19. Документация Яндекс.Диска. URL: <https://yadisk.readthedocs.io/ru/latest/> (дата обращения: 23.08.2024).
20. Центры обработки данных «Selectel». URL: <https://selectel.ru/> (дата обращения: 22.09.2024).
21. Сервер NGINX. URL: <https://nginx.org/> (дата обращения: 19.10.2024).
22. Сервер Gunicorn для UNIX. URL: <https://gunicorn.org/> (дата обращения: 10.08.2024).
23. Алиматов К. С. Разработка защищенной системы мгновенного обмена сообщениями. Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023): сб. научных статей. СПб. : Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2023. С. 56–59.
24. Wei, S., Liu, Y., Li, M., Huang, H., Zheng, X., & Guan, L. DCCaps-UNet: A U-Shaped Hyper-spectral Semantic Segmentation Model Based on the Depthwise Separable and Conditional Convolution Capsule Network. *Remote Sensing*, 2023. 15(12), 3177.

REFERENCES

1. Emelyanov, A. A., Ereshko, M. V., Sizov, O. S., Borisov, A. V. (2022). Review of current cloud platforms for processing and analyzing remote sensing data and information products based on them. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa [Exploring the Earth from Space]*, 2, 72–87 [in Russian].
2. Loupian, E. A., Proshin, A. A., Bourtsev, M. A. (2021). Vega-Science system: design features, main capabilities and usage experience. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space]*, 18 (6), 9–31 [in Russian].
3. Denisov, P. V., Loupian, E. A., Tolpin, V. A., Troshko, K. A. (2021). “VEGA-PRO” satellite service for agricultural monitoring. *Upravlenie riskami v APK [Agricultural Risk Management]*, 1(39), 22–36 [in Russian].
4. The Digital Earth. Retrieved from <https://dgearth.ru/> (accessed July 1, 2024).
5. Shaimardanov, D. A., Atnabaev, A. F., Mukhametov, D. I., Pavlova, L. G. (2024). Status and prospects for the use of remote sensing data for the detection of wildfires. *Byulleten' nauki i praktiki [Bulletin of Science and Practice]*, 10(7). 77–81 [in Russian].
6. Google Earth Engine: planetary-scale platform for Earth science data & analysis. Retrieved from <https://earthengine.google.com/> (accessed September 18, 2024).
7. Microsoft Planetary Computer: cloud-based geospatial data access and analysis platform. Retrieved from <https://planetarycomputer.microsoft.com/> (accessed September 18, 2024).
8. Ferreira, B., Iten, M. & Silva, R. G. et al. (2020). Monitoring sustainable development by means of earth observation data and machine learning: a review. *Environmental Sciences Europe*, 32, 120.
9. Qiang Zhao, Le Yu (2025). Remote sensing applications for assessing progress toward sustainable development goals. *Journal of Remote Sensing*, 5(0403).
10. Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., Rivera-Torres, H., Sadeck, L., & Adami, M. (2023). Google Earth Engine: A Global Analysis and Future Trends. *Remote Sensing*, 15(14), 3675.
11. EO Browser. Retrieved from <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/> (accessed September 20, 2024).
15. Kushabaha, A., Scardino, G., Sabato, G., Miglietta, M. M., Flaounas, E., Monforte, P., Marsico, A., De Santis, V., Borzi, A. M., & Scicchitano, G. (2024). ARCHIMEDE – An Innovative Web-GIS Platform for the Study of Medicanes. *Remote Sensing*, 16(14), 2552.
12. Zelentsov, V. A. (2017). Architecture and Examples of Implementing the Informational Platform for Creation and Provision of Thematic Services Using Earth Remote Sensing Data. *Trudy SPIIRAN [SPIIRAS Proceedings]*, 6, 86–113 [in Russian].

13. Ahmad, S. I., Rana, T., & Maqbool, A. (2022). A Model-Driven Framework for the Development of MVC-Based (Web) Application. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(2), 1733–1747.
14. Kipkemboi, W., Kuria, B. T., Kuria, D. N., Sichangi, A. W., Mundia, C. N., Wanjala, J. A., Rienow, A. (2023). Development of a Web-GIS Platform for Environmental Monitoring and Conservation of the Muringato Catchment in Kenya. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 7(1).
15. Christoph Gohlke. (2025). cgothlke/tifffile: v2025.3.13 (v2025.3.13). *Zenodo*.
16. NumPy. Retrieved from <https://numpy.org/> (accessed October 1, 2024).
17. Yandex. Disk. Retrieved from <https://yandex.ru/dev/disk/> (accessed October 11, 2024).
18. YaDisk's documentation. Retrieved from <https://yadisk.readthedocs.io/ru/latest/> (accessed August 23, 2024).
19. Selectel. Retrieved from <https://selectel.ru/> (accessed September 22, 2024).
20. NGINX. Retrieved from <https://nginx.org/> (accessed October 19, 2024).
21. Unicorn for UNIX. Retrieved from <https://gunicorn.org/> (accessed August 10, 2024).
22. Alimetov, K. (2023). Development of a secure instant messaging system. *Sbornik trudov konferentsii: Aktual'nye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii (APINO 2023 [Proceedings of the conference Actual problems of infotelec communications in science and education (APINO 2023)]* (pp. 56–50). St. Petersburg: The Bonch-Bruевич St Petersburg State University of Telecommunications [in Russian].
23. Wei, S., Liu, Y., Li, M., Huang, H., Zheng, X., & Guan, L. (2023). DCCaps-UNet: A U-Shaped Hyperspectral Semantic Segmentation Model Based on the Depthwise Separable and Conditional Convolution Capsule Network. *Remote Sensing*, 15(12), 3177.

Об авторе

Анна Владиславовна Трофимова – аспирант ЦОП ФАКТ, инженер лаборатории высокоточных систем ориентации.

Author details

Anna V. Trofimova – Ph. D. Student, Engineer, Laboratory of High-Precision Orientation Systems.

Получено / Received 30.07.2025

Поступила после рецензирования / Revised 28.10.2025

Принята к публикации / Accepted 11.03.2026

Научно-практическая статья/Research article

УДК 528.94:004

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-131-142>

Тематическое пространственное моделирование и визуализация объектов, не имеющих четко определенных границ

А. С. Флеенко¹✉

¹ Проектно-изыскательский институт электрификации железных дорог и энергетических установок «Трансэлектропроект» – филиал АО «Росжелдорпроект», г. Москва, Российская Федерация

e-mail: fleenkospb@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена актуальной проблеме тематического картографирования особого типа объектов – с неявной локализацией. Исследуется процесс пространственного моделирования и визуализации подобных природных и природно-антропогенных объектов, не имеющих четко определенных границ, с помощью выявления и характеристики ключевых свойств подобных объектов – определяющих показателей в геоинформационной системе как единой программной среде обработки, анализа и визуализации данных. Рассмотрено свойство параметрической (сущностной) демаркации для пространственного отграничения моделируемых объектов в окружающей среде, предложена система определяющих показателей и продемонстрирована возможность адаптации существующих тематических классификаций и методологических подходов к работе в геоинформационных системах. Разработанная концепция формирования определяющих показателей апробирована на примере оценки загрязненности почвенного покрова города Кронштадта (Санкт-Петербург). Показано, что предложенный подход позволяет эффективно обрабатывать, анализировать и визуализировать данные с усилением роли пространственной составляющей и трансформацией использования семантической составляющей. В частности, расчетный суммарный показатель загрязнения почв рассматривается в качестве лишнего семантического веса определяющего показателя, процессы предобработки, подготовки интерполяционных поверхностей и картографических моделей которого стандартизированы и выполняются в соответствии с требованиями картографии и геоинформатики. Сделан вывод, что концепция определяющих показателей преобразует семантическую основу картографирования и позволяет унифицировать обработку и визуализацию данных с использованием геоинформационных систем для не имеющих четко определенных в пространстве границ объектов.

Ключевые слова: определяющие показатели, геоинформационные системы, тематическое картографирование, визуализация данных, классификация данных, анализ геоданных

Для цитирования:

Флеенко А. С. Тематическое пространственное моделирование и визуализация объектов, не имеющих четко определенных границ. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 131–142. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-131-142>

Thematic spatial modeling and visualization of objects with fuzzy boundaries

A. S. Fleenko¹✉

¹ Designing-And-Survey Institute of Railway Electrification and Power Installations «Transel-ektroproject» – «Roszheldorproject», JSC, Branch, Moscow, Russian Federation

e-mail: fleenkospb@mail.ru

Abstract. This study addresses an important problem in thematic mapping of a special class of objects characterized by implicit spatial localization. It investigates the spatial modeling and visualization of natural and natural-anthropogenic objects with fuzzy boundaries by identifying and describing their key properties, referred to as defining indicators, within a geographic information system serving as an integrated environment for data processing, analysis, and visualization. The study considers parametric, or essential, demarcation as a means of spatially delineating the modeled objects in the surrounding environment, proposes a system of defining indicators, and demonstrates that existing thematic classification schemes and methodological approaches can be adapted for use in geographic information systems. The proposed concept was tested through a case study of soil contamination assessment in Kronstadt (Saint Petersburg). The results show that the approach supports efficient data processing, analysis, and visualization by emphasizing the spatial component and reconfiguring the role of semantic information. In particular, the calculated cumulative soil contamination index is treated as a defining indicator without semantic weight, while the procedures for preprocessing, interpolation surface generation, and cartographic model construction are standardized in accordance with cartographic and geoinformatics requirements. The study concludes that the concept of defining indicators reshapes the semantic basis of mapping and enables standardized processing and visualization of data in geographic information systems for objects with poorly defined spatial boundaries.

Keywords: defining indicators, geoinformation systems, thematic mapping, data visualization, data classification, spatial data analysis

For citation:

Fleenko A. S. (2026). Thematic spatial modeling and visualization of objects with fuzzy boundaries. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 131–142. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-131-142>

Введение

Тематическое картографирование представляет собой стремительно развивающуюся отрасль картографии, основанную на особом подходе к работе с тесно связанными между собой геопространственными и тематическими данными с целью получения предметных знаний о территории исследования и дальнейшего их использования для принятия решений [1].

Разнообразие решаемых задач – от информационного обеспечения городского планирования, землеустройства, логистики и управления ресурсами до мониторинговых работ, медицинских исследований и предотвращения чрезвычайных ситуаций – в совокупности с использованием современных техно-

логий при создании картографических продуктов ставит картографические методы исследования в ряд мощнейших инструментов специалистов в различных сферах деятельности. Тематические карты позволяют структурировать и визуализировать массивы данных, а использование геоинформационных систем (ГИС) расширяет возможности за счет интеграции с автоматизированными системами сбора данных, а также подготовки анимационных и виртуально-реальностных картографических произведений [2], что открывает направления для дальнейшего исследования особенностей и возможностей подходов к тематическому картографированию.

Переход от потребности обеспечения надежности данных к проблеме качества об-

работки и дальнейшего представления результата работы с большими данными тесно связан с формированием и становлением геопространственных знаний в условиях дефицита специалистов и относительно свободного доступа пользователей, не относящихся к указанной сфере деятельности, к географическим и программным продуктам [3, 4]. При этом процесс построения картографических изображений требует знаний, умений и навыков в ключевых аспектах, среди которых семантика, принципы генерализации и применение способов картографического отображения [5]. Растущая доступность геоинформационных инструментов диктует необходимость в упрощении интерфейса и создании специализированных геоинформационных инструментов анализа и обработки тематических данных, а также оценки их искажений [6].

В соответствии с проведенными ранее исследованиями [7] выявлена проблема пространственного моделирования и дальнейшей визуализации результатов объектов природной и природно-антропогенной среды, для которых отсутствует возможность визуальной оценки и сканирования границ. Показано, что от корректности выполнения процедур определения границ объектов зависят интерпретация результатов и процесс принятия решений в различных сферах деятельности [8, 9]. Проблема идентификации границ связана с рядом причин, среди которых сложность формализации описания контура между объектами и внешней по отношению к ним средой, упрощение представления данных с помощью геометрических примитивов [10].

Несмотря на разнообразие существующих решений проблемы неопределенности границ, в большинстве своем опирающихся на математические закономерности и оставляющих в стороне тематическую составляющую данных [7], рассматриваемое направление исследований остается актуальным. В качестве одного из подходов к определению конфигурации неявно локализованных объектов предложено исследование свойств, отличающих их от внешней по отношению к ним среды (или определяющих показателей), и дальнейшая обработка указанных свойств с использованием ГИС [11, 12]. К представленному типу объектов возможно отнести зоны загрязнения

почв и грунтов, примеси в атмосфере, а также тепловые поля. Разработанные ранее тематические подходы и методы анализа и представления результатов доступны к адаптации и применению с использованием инструментов геоинформационных систем, что создает основу для восприятия ГИС в качестве единой среды работы с тематическими данными на всех этапах пространственного моделирования и представления результатов. В данном контексте важной задачей представляется дальнейшая разработка и научное обоснование процедур анализа, обработки и визуализации данных о сложно идентифицируемых пространственно распределенных объектах с последующей частичной автоматизацией процессов в ГИС, направленной на обработку содержательной части подготавливаемых картографических материалов [13].

Целью статьи является характеристика специфики пространственного моделирования и визуализации особого типа объектов природной и природно-антропогенной среды, не имеющих четко определенных границ, с помощью идентификации и описания определяющих показателей как основной моделируемой характеристики. Для достижения цели необходимо решить ряд задач, среди которых выделение общих для определяющих показателей требований, влияющих на их использование в геоинформационных системах, описание сценария применения рассматриваемой концепции на примере обработки и визуализации в ГИС данных о загрязненности почвенного покрова. Объектом исследования определен процесс пространственного моделирования и визуализации объектов с неявной локализацией с помощью ГИС, а предметом – специфика моделирования и визуализации указанных объектов с помощью особого набора характеризующих их параметров (определяющих показателей).

Материалы и методы

Комплекс теоретических подходов и методологических инструментов, примененных в исследовании, включает в себя систему философских, общенаучных и частнонаучных методов. Диалектическая логика предполагает рассмотрение объектов в динамике их развития и взаимосвязи между собой с учетом таких ключевых характеристик, как всесто-

ронность, объективность, целостность и противоречивость. Методы общенаучного характера включают в себя сравнение, описание и формализацию в виде классификаций и типологий с использованием аналитического и синтетического методов исследования. Системный анализ рассматривается в качестве особого подхода к изучению сложных объектов и процессов путем их представления в виде взаимосвязанных между собой компонентов. Кроме того, благодаря абстрагированию от ряда свойств и отношений формируются модели как идеализированные системы, направленные на исследование тех или иных особенностей объектов и процессов. Частнонаучная составляющая ориентирована на конкретизацию представленных методов в рамках решаемых задач, связанных с картографическими методами исследования, моделированием в среде геоинформационных систем и тематическими классификациями, использованием законодательно установленных нормативных значений и стандартов оценки состояния окружающей среды.

В развитие предложенной ранее системы критериев идентификации особого типа природных и природно-антропогенных объектов [12] в представленной статье рассмотрено свойство параметрической (сущностной) демаркации, связанное с задачей определения

границ моделируемых тел. Для реализации демаркации используется процедура пробоотбора или инструментальных измерений в пределах территории исследования по регулярным и нерегулярным сетям для оценки параметров, названных в данной работе определяющими. Установлено, что для рассматриваемого типа моделируемых объектов характерно наличие одного или совокупности взаимосвязанных между собой свойств, которые позволяют однозначно идентифицировать эти объекты в пространстве. Таким образом, определяющие показатели становятся ключевым критерием для поиска неявно локализованных объектов в пределах исследуемой территории. К определяющим показателям возможно отнести доступные к измерению различные физико-химические параметры среды (к примеру, температуру, прозрачность, содержание поллютантов, содержание полезных компонентов) или подготовленные на их основе интегральные характеристики (суммарный показатель загрязнения почв (Z_c), индекс загрязнения воздуха (ИЗА)). Ниже (табл. 1) приведена краткая характеристика существующих критериев оценки, которые представляется возможным рассматривать в качестве определяющих показателей по отношению к объектам, не имеющим четко определенных границ, и их систем классификаций.

Таблица 1. Существующие критерии оценки неявно локализованных объектов и связанные с ними классификации

Объект	Критерий оценки	Классификация
Тело загрязнения почвенного покрова	–При оценке монозагрязнения: содержание отдельного поллютанта; –при оценке многокомпонентного загрязнения: суммарный показатель загрязнения почв (Z_c) или иные комплексные показатели	Классификация категорий загрязнения почв органическими и неорганическими соединениями согласно утвержденным нормативам (Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» : Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115. – Текст : электронный); –при оценке монозагрязнения – указанная шкала связана с гигиеническими нормативами (ПДК и ОДК химических веществ в почве), классами опасности загрязняющих веществ и группой исследуемых соединений; –при оценке многокомпонентного загрязнения: допустимая (Z_c менее 16), умеренно опасная (Z_c от 16 до 32), опасная (Z_c от 32 до 128), чрезвычайно опасная (Z_c более 128)

Окончание табл. 1

Объект	Критерий оценки	Классификация
Облако примеси в атмосфере	–При оценке монозагрязнения: содержание отдельного поллютанта; –при оценке многокомпонентного загрязнения: индекс загрязнения атмосферы (ИЗА)	Классификация загрязнения атмосферного воздуха согласно утвержденной методике (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ «Об утверждении методики определения высокого и очень высокого загрязнения атмосферного воздуха» от 17.02.2022 № 106. – URL: https://base.garant.ru/403588206/ . – Текст : электронный); –при оценке монозагрязнения: шкала оценки в соответствии с превышениями гигиенических нормативов (ПДК и ОДК); –при оценке многокомпонентного загрязнения: высокое (ИЗА от 7 до 13), очень высокое (ИЗА больше или равен 14)
Тело промышленных запасов полезных компонентов россыпных месторождений	Запасы полезного компонента [14]	Условная классификация россыпей: бедные (вертикальный запас до 2 400 мг/м ²), умеренные (от 2 400 до 19 200 мг/м ²) и богатые (более 19 200 мг/м ²) [15]

Предложенная концепция определяющих показателей применена к научно-исследовательскому проекту, связанному с оценкой загрязненности почвенного покрова города Кронштадта (Санкт-Петербург) [16]. В рамках проведенных исследований в пределах населенного пункта в соответствии с данными, представленными в предыдущих работах [17], выделенными функциональными зонами города и нормативными требованиями (Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.4.3.01–2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб» от 01.06.2018 № 302-ст. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/gost-17-4-3-01-2017-mezhgosudarstvennyj-standart/>. – Текст : электронный), была построена сетка отбора проб почв и грунтов в пределах пробных площадок. При проведении рекогносцировочных исследований в восточной части города шаг сетки уменьшен в связи с выявленной высокой антропогенной нагрузкой и расположением в пределах этой территории большинства нормируемых объектов (образовательные и медицинские учреждения, рекреационные территории). Полученное в результате число пробных площадок

(33 штуки) также соответствует требованиям математической статистики в части дальнейшей обработки данных с целью получения статистически значимых результатов.

Отбор точечных проб осуществлялся в пределах пробных площадок с поверхностного слоя почв и грунтов (глубина до 0,2 м) методом конверта в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–2017 (Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.4.4.02–2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» от 17.04.2018 № 202-ст. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/gost-17-4-4-02-2017-mezhgosudarstvennyj-standart/>. – Текст : электронный). Для маркировки образцов использовались порядковые номера пробных площадок. Для определения валовых форм тяжелых металлов (медь, никель, свинец, цинк, мышьяк, кадмий, ртуть) в отобранных образцах почв и грунтов использовались методы рентгенофлуоресцентного анализа. Кадмий и ртуть не участвуют в дальнейшем анализе и подготовке графических материалов в связи с отсутствием

превышения фоновых значений по результатам проведенного анализа.

Процедура оценки загрязненности проводилась в соответствии с нормативными документами, содержащими данные о предельно допустимых концентрациях (ПДК) химических элементов в почвенном покрове и требованиях к их интегральной оценке согласно СанПиН 1.2.3685–21 (Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>. – Текст : электронный), охарактеризованных ниже в контексте концепции определяющих показателей.

Результаты

Суть моделирования состоит в отделении моделируемых объектов от внешней среды [18] и их идеализации в соответствии с определенной исследователем целью. Данный процесс напрямую связан с задачами типологизации и классификации с помощью обоснованных систем сходств и различий объектов и явлений по ряду ключевых признаков. Выбор конкретных признаков зависит от направления проводимых исследований (мониторинговые работы, нормативная оценка состояния окружающей среды, оценка запасов ценных или ключевых элементов в той или иной среде) и характера моделируемых тел (водный объект, почвенный покров, газовоздушная смесь). При этом к обязательным условиям выбора признаков в концепции определяющих показателей необходимо отнести информативность, измеримость и сопоставимость, а также устойчивость. Информативность состоит в выборе такого набора моделируемых и визуализируемых параметров объекта, который в дальнейшем позволяет однозначно интерпретировать и обрабатывать полученную модель для достижения цели исследования [19]. Критерии измеримости и сопоставимости ориентируются, с одной стороны, на доказательность, воспроизводи-

мость и проверяемость как свойства научности знания [20], а с другой – на технико-технологическую возможность проведения измерений определяющих показателей для дальнейшего исследования.

Устойчивость определяющих показателей устанавливается через связь с научно обоснованными и нормативно установленными классификациям моделируемых объектов и возможность адаптации к изменениям [21]. Такой подход позволяет повысить методологическую обоснованность процедур моделирования и визуализации. Использование существующих решений выгодно тем, что уже сформированные фундаментальные логические правила и закономерности тематических исследований необходимо лишь адаптировать для работы со специализированным программным обеспечением.

Концепция определяющих показателей и существующих систем их классификаций для дальнейшего пространственного моделирования и визуализации с использованием геоинформационных систем открывает большое число вариантов обработки, анализа и представления данных. Так, ГИС позволяют использовать для формализации и дальнейшей обработки тематических сведений языки программирования, включая правила построения семантической паутины или Semantic Web Rule Language (SWRL) [22], дополнять на их базе существующие инструменты, а также проводить интеграцию данных с иным программным обеспечением – системами информационного моделирования и системами автоматизированного проектирования.

Концепция определяющих показателей в ГИС-моделировании и визуализации пространственных объектов, не имеющих четко определенных границ, в данном исследовании применена к анализу тел загрязнения почвенного покрова и техногенных грунтов на основе ПДК и интегральных параметров оценки для подготовки интерполяционных поверхностей [16]. В качестве интегрального коэффициента выступает суммарный показатель загрязнения почв (Z_c), характеризующий степень их загрязнения тяжелыми металлами. К данной категории химических элементов относят медь, никель, кадмий, ртуть,

свинец, цинк (группа металлов) и мышьяк (группа неметаллов). С превышением определенных концентраций тяжелые металлы провоцируют нарушение функций объектов окружающей среды, в том числе живых организмов [23], в связи с чем указанные химические элементы находятся на особом контроле исследователей.

Использование суммарного показателя загрязнения почв в качестве определяющего показателя по отношению к телам загрязнения почвенного покрова отвечает приведенным выше критериям измеримости, информативности, сопоставимости и устойчивости. Так, расчет Z_c основан на количественных данных – измеренных значениях содержания загрязняющих веществ в почве, полученных путем опробования почв и грунтов территории исследования, и их фоновых значениях. Формула расчета Z_c выглядит следующим образом:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1), \quad (1)$$

где n – число определяемых суммируемых химических элементов, для которых $K_c > 1$; K_c – коэффициент концентрации химического элемента, определяющийся как отношение фактического содержания загрязняющего вещества к фоновому содержанию:

$$K_c = C_i / C_{\phi_i}, \quad (2)$$

где C_i – фактически измеренное значение содержания i -го загрязняющего вещества в почве; C_{ϕ_i} – значение фонового содержания i -го загрязняющего вещества в почве.

Информативность рассматриваемого показателя связана с тем, что он позволяет провести комплексную оценку уровня загрязнения почвенного покрова с учетом совокупного воздействия нескольких загрязняющих веществ одновременно. Кроме того, использование коэффициентов концентрации позволяет провести ранжирование загрязняющих веществ по превышению над фоновым уровнем содержания на исследуемой территории.

Использование суммарного показателя загрязнения почв обеспечивает сопоставимость данных между разными временными периодами и территориями при условии единства методических подходов. Подобный подход позволяет сравнивать уровни загрязнения участков, проводить анализ динамики изменений.

Устойчивость рассматриваемого показателя связана с утвержденной нормативной базой, методиками расчета и использования. С целью повышения устойчивости Z_c необходим строгий учет и актуализация данных о фоновых значениях содержания загрязняющих веществ, строгий контроль за перечнем используемых при расчетах химических элементов и методических подходов. Таким образом, с учетом приведенных выше комментариев Z_c выступает в роли определяющего показателя, удовлетворяющего всем предъявляемым условиям.

Стандартный процесс первичной обработки данных, полученных по результатам пробоотбора и лабораторного анализа содержания загрязняющих веществ в пробах почв и грунтов, включает в себя проверку достаточности и достоверности с использованием электронных таблиц и математико-статистических методов, подготовку материалов описательной статистики и формирование сводных таблиц по результатам расчета комплексных параметров. Указанные процессы, а также дальнейшее пространственное моделирование и визуализацию представляется возможным частично автоматизировать с использованием геоинформационных систем. Для этого формируется исходная атрибутивная таблица (табл. 2), содержащая сведения о пространственном положении точек отбора и полученных значениях содержания загрязняющих веществ для проведения дальнейших расчетов. На следующем этапе таблица дополняется расчетными значениями суммарного показателя загрязнения почв Z_c , выступающего в качестве определяющего показателя согласно формулам (1) и (2).

Таблица 2. Вид исходной таблицы данных

Id	Шифр точки	Координата 1	Координата 2	As	Cu	Ni	Cd	Hg	Pb	Zn
1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Таким образом формируется первичный табличный материал, содержащий в себе пространственные и атрибутивные данные для формирования картографической модели, отражающей участок исследования и местоположение сети отбора проб (рис. 1), а также для подготовки иных сведений в текстовом и графическом виде. Благодаря дополнению су-

ществующих инструментов ГИС сценариями, направленными на исследование семантических данных, итоговый результат использования геоинформационных систем существенно расширяется и дополняется материалами описательной статистики, иными сведениями об исходных данных, позволяющими оценить их достаточность и достоверность (рис. 2).

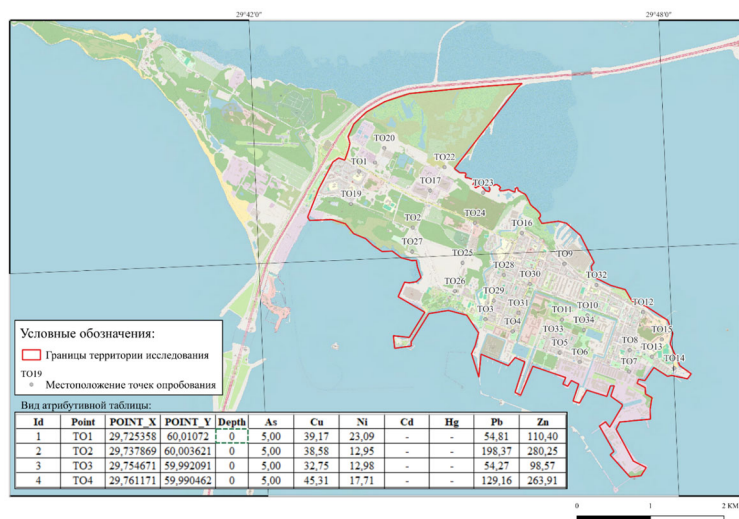


Рис. 1. Карта сети пробоотбора в пределах участка исследования

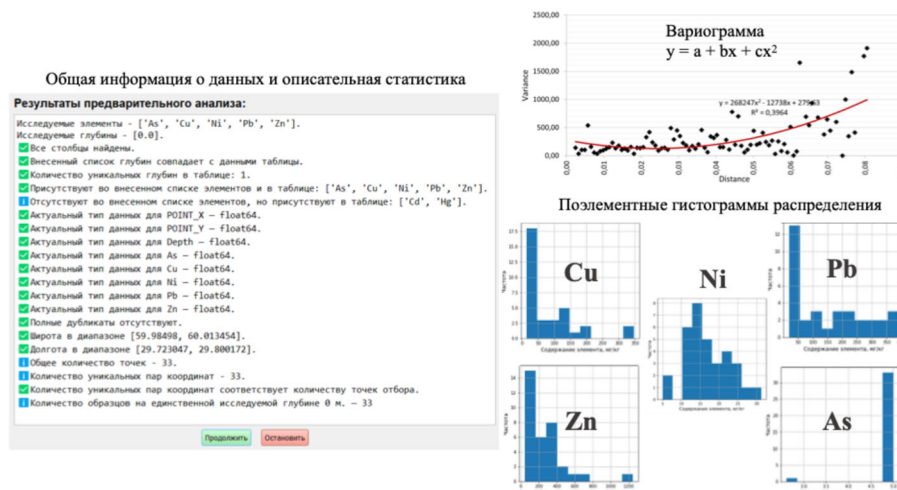


Рис. 2. Дополнительные сведения, полученные в результате обработки данных

Благодаря использованию инструментов ГИС, связанных с методами интерполяции, представляется возможным подготовить пространственную модель, характеризующую распределение определяющего показателя на исследуемом участке и, в соответствии с суще-

ствующей классификацией по категориям загрязненности почв и грунтов, отразить ориентировочное местоположение зон нахождения тел загрязненных почв (рис. 3). С учетом требований, предъявляемых к определяющим показателям, материалы визуализации опираются

на установленные нормативами интервалы значений. Таким образом, осуществляется переход от дискретного, «точечного», описания загрязненности территории к исследованию поверхностного слоя почвы как непрерывного пространственного объекта в совокупности с суще-

ствующей обстановкой природопользования и техногенного воздействия. Кроме того, выявленные на поверхности тела загрязнения почв становятся территорией для продолжения исследований с целью дополнения имеющихся данных и получения трехмерных объектов.

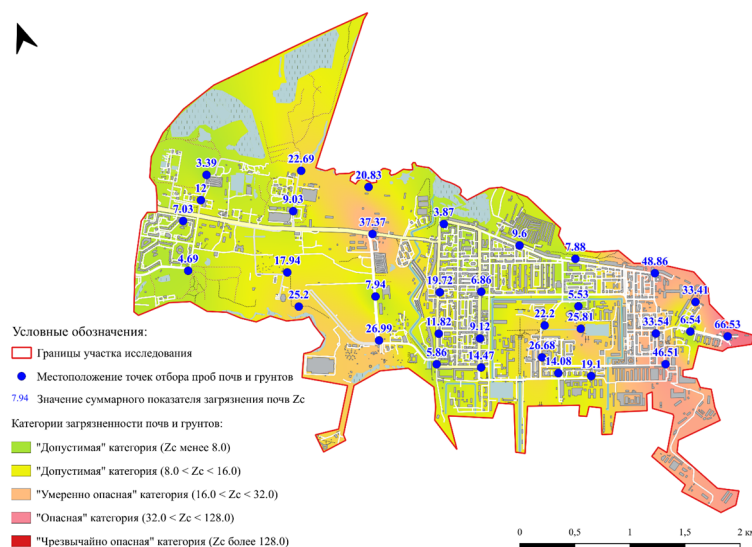


Рис. 3. Карта загрязнения поверхностного слоя почвы

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует, что обоснование и разработка специализированных инструментов ГИС с использованием предложенного принципа параметрической демаркации и системы определяющих показателей открывает существенные перспективы в изучении и управлении пространственно-неявными объектами природной и природно-антропогенной среды. Предложено решение проблемы отделения от внешней среды и идентификации пространственных границ таких объектов через систему измеримых параметров, соответствующих критериям информативности, измеримости, сопоставимости и устойчивости. В качестве определяющих показателей предложено использовать существующие признаки объектов, а для их отграничения от внешней среды – утвержденные и научно обоснованные системы классификаций. В подобном виде концепция адаптирует имеющиеся тематические методические решения и приводит их к единому знаменателю, позволяющему модифицировать данные для обработки и представления в среде геоинформационных систем.

На примере доработки материалов научно-исследовательского проекта оценки загрязненности почвенного покрова представлена роль определяющих показателей и возможности интеграции инструментов обработки атрибутивных данных в процесс пространственного моделирования и визуализации с использованием ГИС. Применение концепции обеспечивает переход от точечных данных в пределах территории исследования к моделированию единого пространственного объекта в условиях повышения роли геоданных и лишения на этапе анализа и моделирования семантических данных тематической окраски.

Предложенный подход использования определяющих показателей ориентирован на преодоление фрагментарности существующих решений за счет унификации семантики тематических исследований, расширение аналитических возможностей специализированного программного обеспечения (в том числе частичную автоматизацию процессов и повышение точности интерпретации данных), а также общий рост эффективности принятия решений. Концепция рассматривается в качестве методологической основы для работы с тематическими геопространствен-

ными данными об объектах с неявной локализацией, способствуя развитию тематического картографирования как инструмента решения задач в территориальном планировании, природопользовании и иных сферах

деятельности. Дальнейшие исследования могут быть направлены на апробацию методики для различных объектов, в том числе обладающих изменчивостью во времени и пространстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Янкелевич С. С. Тематическое картографирование на базе геопространственных знаний и когнитивного подхода. Тематические карты и атласы: современные концепции научного содержания, новые технологии создания и использования : материалы XI международной научной конференции по тематической картографии. Иркутск : Издательство Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2022. С. 237–239.
2. Лисицкий Д. В., Комиссарова Е. В., Колесников А. А., Шарыпова М. Н. Двухмерные анимационные картографические произведения. Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. С. 100–105.
3. Орлов М. Ю, Верещака Т. В. Тенденции развития картографического производства в России (2017 г. – настоящее время). Тематические карты и атласы: современные концепции научного содержания, новые технологии создания и использования : материалы XI международной научной конференции по тематической картографии. Иркутск : Издательство Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2022. С. 186–189.
4. Lee J-G., Kang M. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. Big Data Research. 2015. № 2 (2). P. 74-81. DOI 0.1016/j.bdr.2015.01.003.
5. Ковалева О. В., Баранова Н. А. Трехмерное картографирование: подходы, методы, классификации. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2022. № 66(3). С. 77–91. DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-3-77-91.
6. Kaufmann M. Your Wish is My Command: Programming by Example. San Francisco, USA: Academic Press, 2001. P. 416. DOI 10.1016/B978-1-55860-688-3.X5000-3.
7. Clementini E., Felice P. D. An Algebraic Model for Spatial Objects with Indeterminate Boundaries. Geographic Objects with Indeterminate Boundaries. London: Taylor & Francis, 1996. P. 155–169.
8. Evans T. S., Rivers R. J. Was Thebes Necessary? Contingency in Spatial Modeling. Frontiers in Digital Humanities. 2017. № 4(8). URL: https://www.researchgate.net/publication/317154971_Was_Thebes_Necessary_Contingency_in_Spatial_Modeling. DOI 10.3389/fdigh.2017.00008.
9. DeAngelis D., Yurek S. Spatially Explicit Modeling in Ecology: A Review. Ecosystems. 2017. № 20(2). P. 1–17. DOI 10.1007/s10021-016-0066-z.
10. Hackel T., Wegner J. D., Schindler K. Contour Detection in Unstructured 3D Point Clouds. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas, USA, 2016. P. 1610–1618. DOI 10.1109/CVPR.2016.178.
11. Флеенко А. С. Разработка модуля геоинформационной системы для моделирования и трехмерной визуализации загрязненности почвенного покрова. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых : материалы 17 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. М. : ИПКОН РАН, 2025. С. 243–246.
12. Флеенко А. С. Идентификация объектов с неявной пространственной локализацией при пространственном моделировании и визуализации с применением геоинформационных систем. Отходы и ресурсы. [Электронный ресурс] 2025. № 12(4). URL: <https://resources.today/PDF/07NZOR425.pdf>. DOI 10.15862/07NZOR425.
13. Андреева О. А. Геоинформационное семантическое моделирование // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2019. № 3(13). С. 27–32.
14. Тальгамер Б. Л., Чемезов В. В. Оценка техногенных россыпей и методов определения их запасов. iPolytech Journal. 2012. № 12 (71). С. 126–130.
15. Загибалов А. В. Геолого-промышленная классификация россыпей Ленского золотоносного района как объектов поисков и разведки. iPolytech Journal. 2011. № 11 (58). С. 53–58.
16. Флеенко А. С., Куриленко В. В. Изучение миграционных характеристик тяжелых металлов в почвах города Кронштадта. Экологические проблемы недропользования. Наука и образование : материалы XVIII международной научной конференции. СПб. : ЛЕМА, 2018. С. 250–253.

17. Куриленко В. В., Осмоловская Н. Г., Максимова Д. А., Кучаева Л. Н. Геоэкологическая характеристика Кронштадта и оценка загрязненности его территории тяжелыми металлами. Вестник СПбГУ. 2015. № 7(2). С. 107–124.
18. Цветков В. Я. Основы геоинформационного моделирования. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 1999. № 4. С. 147–157.
19. Цветков В. Я. Оценка информативности и качества обработки графической информации. Успехи современного естествознания 2014. № 12. С. 137–140.
20. Губанов Н. И., Губанов Н. Н., Третьяков Н. Г. Критерии некоторых аспектов научного знания. Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Сер.: Педагогика. Психология. Философия. 2016. № 1(01). С. 25–35.
21. Лексин В. Н. Неопределенность, риски и устойчивость систем. Труды ИСА РАН. 2022. Т. 72. С. 3–14.
22. Щербаков А. Г., Садовникова Н. П., Парыгин Д. С., Рашевский Н. М., Гуртяков А. С. Интеллектуальная поддержка анализа градостроительных проектов на основе онтологии. Онтология проектирования. 2025. № 15(3). С. 436–448. DOI 10.18287/2223-9537-2025-15-3-436-448.
23. Appenroth K-J. What are «heavy metals» in Plant Sciences? Acta Physiol Plant. 2010. № 32. P. 615–619. DOI 10.1007/s11738-009-0455-4.

REFERENCES

1. Yankelevich S. S. (2022). Thematic Cartography Using Geospatial Knowledge and Cognitive Methods. *Tematicheskie karty i atlasy: sovremennye kontseptsii nauchnogo sodержaniya, novye tekhnologii sozdaniya i ispolzovaniya : materialy XI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po tematicheskoy kartografii [Thematic maps and atlases: contemporary theories of scientific content, new technologies of mapping and use : Proceedings of the 11th International Scientific Conference on Thematic Cartography]*. Irkutsk: Published by the V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS. 237–239 [in Russian].
2. Lisitsky D. V., Komissarova E. V., Kolesnikov A. A., Sharypova M. N. (2016). 2D Animation Cartographic Works. *Interekspo Geo-Sibir [Interexpo GeoSiberia]*. 1(1). 100–105 [in Russian].
3. Orlov M. Yu, Vereshchaka T. V. (2022). Developments and trends in Russian cartographic production (2017–present). *Tematicheskie karty i atlasy: sovremennye kontseptsii nauchnogo sodержaniya, novye tekhnologii sozdaniya i ispolzovaniya : materialy XI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po tematicheskoy kartografii [Thematic maps and atlases: contemporary theories of scientific content, new technologies of mapping and use : Proceedings of the 11th International Scientific Conference on Thematic Cartography]*. Irkutsk: Published by the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS. 186–189. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-3-77-91 [in Russian].
4. Lee J-G., Kang M. (2015). Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*. 2(2). 74–81. DOI 0.1016/j.bdr.2015.01.003.
5. Kovaleva O. V., Baranova N. A. (2022). 3D mapping: approaches, techniques, and classifications. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestia Vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying»]*. 66(3). 77–91 [in Russian].
6. Kaufmann M. (2001). Your Wish is My Command: Programming by Example. *San Francisco, USA: Academic Press*. P. 416. DOI 10.1016/B978-1-55860-688-3.X5000-3.
7. Clementini E., Felice P. D. (1996). An Algebraic Model for Spatial Objects with Indeterminate Boundaries. *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries. London: Taylor & Francis*. 155–169.
8. Evans T. S., Rivers R. J. (2017). Was Thebes Necessary? Contingency in Spatial Modeling. *Frontiers in Digital Humanities*. 4(8). URL: https://www.researchgate.net/publication/317154971_Was_Thebes_Necessary_Contingency_in_Spatial_Modeling. DOI 10.3389/fdigh.2017.00008.
9. DeAngelis D., Yurek S. (2016). Spatially Explicit Modeling in Ecology: A Review. *Ecosystems*. 20(2). 1–17. DOI 10.1007/s10021-016-0066-z.
10. Hackel T., Wegner J. D., Schindler K. (2016). Contour Detection in Unstructured 3D Point Clouds. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas, USA*. 1610–1618. DOI 10.1109/CVPR.2016.178.
11. Flenko A. S. (2025). Development of a GIS module for modelling and 3D visualisation of soil contamination. *Problemy osvoeniya nedr v XXI veke glazami molodykh : materialy 17 Mezhdunarodnoy nauchnoy shkoly molodykh uchyonykh i spetsialistov [Subsurface Development Challenges in the 21st Century through*

the Eyes of the Young: Proceedings of the 17th International Scientific School for Young Scientists and Specialists. Moscow: IPKON RAS. 243–246 [in Russian].

12. Fleenko A. S. (2025). Identification of objects with implicit spatial localization in spatial modelling and visualization using geographic information systems (GIS). *Internet-zhurnal «Othody i resursy» [Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling]*. 12(4). URL: <https://resources.today/-PDF/07NZOR425.pdf>. [in Russian].

13. Andreeva O. A. (2019). Geospatial semantic modeling. *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii [IT applications in science, education, and administration]*. 3(13). 27–32 [in Russian].

14. Tal'gamer B. L., Chemezov V. V. (2012). Assessing Technogenic Placers and Methods to Determine their Resources. *iPolytech Journal*. 12(71). 126–130 [in Russian].

15. Zagibalov A. V. (2011). Geological and Industrial Classification of Lena Gold-Bearing Region Placers as Objects of Exploration and Prospecting. *iPolytech Journal*. 11(58). 53–58 [in Russian].

16. Fleenko A. S., Kurilenko V. V. (2018). Investigation of heavy metal migration patterns in Kronstadt urban soils. *Ekologicheskie problemy nedropol'zovaniya. Nauka i obrazovanie : materialy XVIII mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii [Environmental Issues of Subsurface Resource Management. Science and Education: Proceedings of the 18th International Scientific Conference]*. Saint-Petersburg: ООО «Izdatel'stvo «LEMA». 250–253 [in Russian].

17. Kurilenko V. V., Osmolovskaya N. G., Maksimova D. A., Kuchaeva L. N. (2015). Geo-Ecological Characteristics of Kronstadt and Assessment of its Territory Pollution by Heavy Metals. *Vestnik of Saint Petersburg University [Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta]*. 7(2). 107–124 [in Russian].

18. Tsvetkov V. Y. (1999). Principles of Geoinformation Modelling. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestia Vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying»]*. 4. 147–157 [in Russian].

19. Tsvetkov V. Y. (2014). Solution Tasks of the Second Kind with the Use of the Information Approach. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in current natural sciences]*. 12. 137–140 [in Russian].

20. Gubanov N. I., Gubanov N. N., Tretjakov N. G. (2016). Criteria Some Aspects of Scientific Knowledge. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova. Seriya: Pedagogika. Psikhologiya. Filosofiya [Vestnik of North-Eastern Federal University. Pedagogics. Psychology. Philosophy]*. 1(01). 25–35 [in Russian].

21. Leksin V. N. (2022). Uncertainty, Risks, and System Resilience. *Trudy ISA RAN [Proceedings of the ISA RAS]*. 72. 3–14 [in Russian].

22. Shcherbakov A. G., Sadovnikova N. P., Parygin D. S., Rashevskij N. M., Gurtyakov A. S. (2025). Intelligent support for the analysis of urban development projects based on ontology. *Ontologiya proektirovaniya [Ontology of designing]*. 15(3). 436–448. DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-3-436-448 [in Russian].

23. Appenroth K.-J. (2010). What are «heavy metals» in Plant Sciences? *Acta Physiol Plant*. 32. 615–619. DOI 10.1007/s11738-009-0455-4.

Об авторе

Антон Сергеевич Флеенко – ведущий инженер экологической группы отдела инженерных изысканий проектно-изыскательского института электрификации железных дорог и энергетических установок «Трансэлектропроект» – филиала АО «Росжелдорпроект».

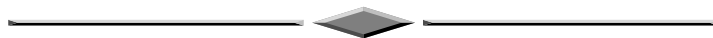
Author details

Anton S. Fleenko – Senior Engineer of Environmental Group of Engineering Survey Department, Designing-And-Survey Institute of Railway Electrification and Power Installations «Transel-ektro-project» – «Roszheldorproject», JSC, Branch.

Получено / Received 25.11.2025

Поступила после рецензирования / Revised 26.03.2026

Принята к публикации / Accepted 24.04.2026



Научно-практическая статья/Research article

УДК 332.2:004.65(571.13)

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-143-154>

Методика создания геоинформационной базы данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований северной зоны Омской области с применением ГИС-технологий

Л. Н. Гилёва¹✉, М. Н. Веселова¹, С. А. Балтабеков¹, А. Е. Дячук¹

¹ Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, г. Омск, Российская Федерация

e-mail: ln.giljova@omgau.org

Аннотация. В настоящее время в стране идет создание современной системы геопроостранственного информационного обеспечения как на государственном уровне, так и на уровне муниципалитетов. В статье представлены результаты исследований, связанные с формированием геоинформационных баз данных с применением ГИС-технологий для обеспечения цифровым картографическим материалом органы местного самоуправления, министерства и ведомства субъекта РФ в сфере земле- и природопользования. Авторами предложена методика создания геоинформационной базы данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований с применением геоинформационных систем, представлены результаты апробации. Описаны структурные элементы такой базы данных, количественные и качественные характеристики объектов. Дана общая технологическая схема и комплекс программных средств, позволяющий обеспечивать процесс обработки информации и интеграции базы данных для исследуемой территории. В заключение даны рекомендации по применению созданной базы данных в структуре Национальной системы пространственных данных на уровне субъекта Российской Федерации.

Ключевые слова: геоинформационные системы, цифровые слои, семантические базы данных, национальная система пространственных данных, автоматизированная система

Для цитирования:

Гилёва Л. Н., Веселова М. Н., Балтабеков С. А., Дячук А. Е. Методика создания геоинформационной базы данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований северной зоны Омской области с применением ГИС-технологий. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 143–154. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-143-154>

GIS framework for mapping land use and natural resource management in northern municipalities of the Omsk region

L. N. Gileva¹✉, M. N. Veselova¹, S. A. Baltabekov¹, A. E. Dyachuk¹

¹ Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russian Federation

e-mail: ln.giljova@omgau.org

Abstract. The article reports on the design and implementation of geospatial databases using GIS technologies to provide digital cartographic resources for local governments, ministries, and agencies of Russia's constituent entities in the domains of land use and natural resource management. The authors present a methodology for constructing a GIS-based database of municipal land-use and natural-resource objects and summarize the results of its pilot implementation. The paper details the database's structural components and the quantitative and qualitative attributes of its features, and describes an overarching technological workflow and software suite that support data processing and integration for the study area. Finally, the authors offer recommendations for integrating the developed geodatabase into the National Spatial Data System at the level of a constituent entity of the Russian Federation.

Keywords: geoinformation database, GIS technologies, digital layers, semantic databases, national spatial data system

For citation:

Gileva L. N., Veselova M. N., Baltabekov S. A., Dyachuk A. E. (2026). GIS framework for mapping land use and natural resource management in northern municipalities of the Omsk region. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 143–154. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-143-154>

Введение

Современный этап развития общества обуславливает переход к инновационному, социально ориентированному экономическому развитию, что требует создания пространственной модели данных, способной сформировать эффективную систему управления, в которой особого внимания требуют вопросы информационного обеспечения и рационального землепользования муниципальных образований [1]. В управлении ресурсами особую роль играют геоинформационные системы, способные обеспечить анализ и визуализацию географической информации, сформировать картографический материал [2, 3]. Геоинформационные системы, позволяющие пользователям эффективно анализировать пространственную информацию и принимать обоснованные решения в области принятия управленческих решений, имеют широкий спектр возможностей для обработки пространственной информации, включая работу с базами данных, картографированием, моделированием [4, 5]. Оперативно и эффективно обосновывать принятые управленческие решения, направленные на оптимизацию и ведение мониторинговых исследований, минимизацию антропогенных воздействий, оказывающих негативное влияние на состояние природной среды, способны геоинформационные технологии [6]. При использовании ГИС в исследованиях природного ландшафта обеспечивается широкий пространственно-временной анализ

изменения природных объектов, который позволяет выявить и оценить трансформацию окружающей среды, осуществить прогноз будущего состояния ландшафта и эффективно управлять природоохранными ресурсами [7].

Система земле- и природопользования любого муниципального образования является сложной природной системой, требующей визуализации в виде цифровых информационных моделей, основу которых составляют базы данных с векторными информационными слоями, описывающими объекты природопользования в виде графических и атрибутивных данных тематических информационных слоев для решения конкретных прикладных задач в части рационального использования природно-ресурсного потенциала и управления.

Целью статьи является разработка методики создания геоинформационной базы данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований как совокупности цифровых информационных слоев для геоинформационного моделирования и тематического картографирования территории, что позволит обеспечить информацией органы местного самоуправления для целей управления, прогнозирования развития данных территорий, обоснования инвестирования.

Геоинформационная база данных представляет собой совокупность пространственных данных, имеющих свою инфраструктуру, которые являются информационной основой обеспечения геоинформационных систем, содержа-

щих большие объемы и разнообразные типы данных. Современные ГИС дают возможность как создания геоинформационных баз данных, так и эффективного пространственного поиска и анализа данных [8–10].

В целях управления земле- и природопользованием необходима геоинформационная база данных, включающая векторные слои с атрибутивными таблицами: водоохранные зоны, особо охраняемые природные территории, территории общедоступных охотничьи угодий, месторождения полезных ископаемых, почвы, ландшафты и др. для использования при разработке проектов по организации рационального использования земель муниципальных образований и хозяйствующих субъектов, а также в качестве информационной основы при осуществлении управленческой деятельности специалистами администраций. Управление муниципальными образованиями связано с отсутствием баз данных и геоинформационного обеспечения для оперативного внесения изменений в них со стороны отделов земельно-имущественных отношений администраций. Для решения этих проблем предлагается комплексное использование геопортальных технологий как точек доступа к пространственной информации, основанной на формировании инфраструктуры пространственных данных, их качества и достоверности [11–13].

Базы данных, объединяющих в себе набор слоев, как система знаний о территории, являются источником информации для создания моделей, позволяющих формировать образы реальной ситуации [14]. Создание цифровых векторных слоев может выполняться на основе данных открытого доступа, данных дистанционного зондирования Земли, топографических карт и планов исследуемой территории с указанием в атрибутивных таблицах следующих данных: наименование, тип, код объекта, местоположение, длина или площадь и др.

Действующими нормативно-правовыми актами не предусмотрен порядок подготовки картографического материала в виде цифровых информационных слоев для использования органами местного самоуправления. Однако регулирование землепользования на уровне муниципальных образований занимает важное место в системе земельно-имущественных отношений. При этом информационное обеспечение органов местного самоуправления в области использования и охраны природных ресур-

сов, включая аспекты государственного надзора и контроля, является одной из составляющих обеспечения рационального использования природно-ресурсного потенциала. Создание земельных информационных систем организуется по инициативе администрации муниципального образования и других организаций, использующих информацию о земле и иных объектах недвижимости. Данные информационные системы разрабатываются с целью создания инфраструктуры пространственных данных, а именно формирования единого информационного пространства субъектов, что предоставляет оптимальный доступ к базам данных, свободный и оперативный обмен данными, взаимодействие и координацию между пользователями [15].

Таким образом, возникает необходимость проведения картографических работ по формированию цифровых баз данных с применением геоинформационных систем и цифровых технологий как инструмента для вовлечения в процесс управления ресурсами, организации и хранения информации. ГИС-технологии обеспечивают возможность вести мониторинг данных, проводить исследования и хранить результаты в объективно-ориентировочной базе данных [16, 17].

Создающаяся в стране Национальная система пространственных данных (НСПД) содержит информацию о географической структуре территории страны, ее границах, топографии, населенных пунктах, объектах инфраструктуры и других пространственных объектах как федерального, так и регионального уровней [18]. Для наполнения НСПД необходимо создание цифровых информационных баз данных муниципальных образований, что позволит детализировать информацию. Для обеспечения качества НСПД следует стандартизировать процессы создания, обработки, хранения и предоставления данных НСПД, так как на сегодняшний день пространственные данные не упорядочены и не структурированы. Развитие государственных источников пространственных данных в рамках НСПД должно обеспечить удобство их использования в пользовательских приложениях и повысить качество и достоверность информации о пространственных объектах для широкого круга пользователей [19].

Методика создания геоинформационной базы данных объектов земле- и природопользо-

вания муниципальных образований с применением ГИС-технологий предлагает поэтапную технологическую схему, перечень необходимых слоев и их структуру, что определяет как актуальность выполненного исследования, так и практическую значимость для специалистов администраций муниципальных образований, наполнения НСПД, разработки автоматизированных систем прогнозирования землепользования, создания геопорталов [20, 21].

Методы и объект исследования

В качестве методов исследования использовались картографический, картометрический, методы системного анализа и синтеза, позволяющие исследовать земле- и природопользование муниципальных образований. Для автоматизации процессов пространственного моделирования и формирования цифровых информационных баз данных были применены методы геоинформатики и геоинформационного анализа.

Потенциальными объектами исследования являются территории муниципальных образований северной зоны Омской области: Большешуковского, Знаменского, Седельниковского, Тарского, Тевризского и Усть-Ишимского районов, в том числе объекты земле- и природопользования. Особый характер землепользования северных территорий Омской области, их экономическое, социальное и культурное развитие определяется факторами удаленности от областного центра, отсутствием рабочих мест, большим оттоком населения, что предопределяет поиск новых направлений их развития, в том числе в части рационального использования природно-ресурсного потенциала и вовлечения в хозяйственную деятельность естественных биологических ресурсов, поскольку северная зона Омской области обладает уникальной природой, обилием водных и лесных ресурсов, дикоросов, лекарственного сырья, охотничьих угодий [22].

Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 г. (Об утверждении Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года : распоряже-

ние Правительства РФ от 02.02.2015 №151-р. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) направлена на совершенствование методик обработки статистических данных и формирование единого информационного ресурса, отражающего информацию о состоянии и развитии сельских территорий. Доступ к такой информации органов государственной власти, органов местного самоуправления и коммерческих организаций создаст условия для повышения качества планирования развития сельских территорий.

В этой Стратегии правительство Омской области утвердило концепцию развития северных районов Омской области до 2030 г. (Об утверждении Концепции развития северных районов Омской области до 2035 года : распоряжение Правительства Омской области от 07.11.2024 № 300-рп. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный), в которой определены пять приоритетных направлений, в том числе *сбалансированное пространственное развитие и эффективное муниципальное управление с применением геоинформационных систем и технологий*.

Для решения социально-экономических проблем на уровне муниципального образования необходимо актуальное информационное обеспечение, в том числе цифровой картографический материал, отражающий пространственное размещение объектов и базы пространственно-координированных данных, содержащих семантическую и графическую информацию [23]. Применение ГИС-технологий, являющихся эффективным способом обработки пространственных данных, позволяет не только разрабатывать картографический материал, но и оперативно обновлять его содержание, разрабатывать проектные предложения по оптимизации землепользования, решать проблемы информационного обеспечения субъектов [24–26].

Методику создания геоинформационной базы данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований с применением ГИС-технологий можно представить в виде технологической схемы (рис. 1).

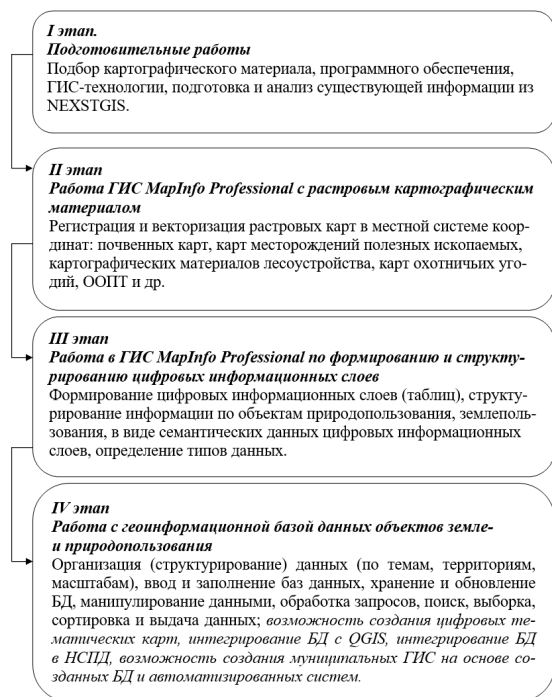


Рис. 1. Методика создания геоинформационных баз данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований с применением геоинформационных систем

Разработанная методика позволит создать базу данных как геоинформационную среду для дальнейшего прогнозирования и планирования развития территорий. Формирование базы данных с применением ГИС-систем и технологий следует рассматривать как организованную совокупность связанных между собой геопространственных данных, отображающих конкретную территорию и предметную область, предназначенных для совместного использования заинтересованными структурами и специалистами администраций муниципальных образований.

Совокупность базы данных (БД), системы управления базами данных (СУБД) через систему SQL-запросов и прикладных программ (MapInfo, QGIS) представляет собой банк пространственных данных как информационную систему централизованного хранения и коллективного использования геопространственных данных о территории. База данных содержит тематическую, кадастровую информацию, ортофотопланы, цифровую информационную основу. В качестве дальнейшего результата применения сформированной БД планируется создание цифровых информационных моделей с

использованием актуальных картографических данных, полученных методами ДЗЗ, наземных кадастровых и топографических съемок, и статистических данных по результатам качественных и количественных показателей мониторинга объектов земле- и природопользования. Эти модели и оценки позволят осуществлять экологическое и эколого-экономическое обеспечение развития территорий, выявить территории, наиболее эффективные для инвестирования и рационального использования природно-ресурсного потенциала.

Следует отметить, что геоинформационные базы данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований, созданные с применением ГИС-технологии, становятся все более востребованным инструментом для специалистов в области архитектуры, капитального строительства, землеустройства и кадастровой деятельности, способствуя коммуникации в области управления ресурсами, и могут служить основой для создания муниципальной ГИС.

Результаты и их обсуждение

Проблемы формирования единого цифрового информационного пространства, содержащего сведения о территории, объектах земле- и природопользования, почвенном, ландшафтном и растительном покрове, тесно взаимосвязаны, а обеспечение органов власти структурных подразделений администраций достоверной информацией о территории является актуальной и насущной задачей для развития процессов в области территориального управления, анализа и прогнозирования их развития. Для получения максимального эффекта от используемых информационных ресурсов и доступа к ним целесообразно постоянно пополнять и вести мониторинг БД, являющихся информационно-аналитической основой для решения различных задач в области территориального управления.

В отношении объекта исследования применена методика создания геоинформационной базы данных объектов земле- и природопользования с использованием геоинформационных систем и формированием цифровых информационных слоев, содержащих графические и атрибутивные данные, обеспечивающих возможность оперативного доступа к достоверной и полной информации обо всех элементах природно-ресурсного комплекса муниципальных образований.

В качестве особенностей создания БД следует отметить:

– совместное применение растровых, векторных и статистических данных, базовым источником которых служат открытые данные Единого государственного реестра недвижимости, Федеральной государственной информационной системы территориального планирования, ведомственные данные, информация об объектах природопользования, сведения единой российской платформы NextGIS [27];

– хранение отдельных пространственных объектов и растровых данных с различной детальностью и точностью в единой системе координат (МСК) в рамках одной территории (муниципального образования);

– наличие характеристик объектов БД, имеющих следующие параметры: наименование объекта; муниципальный район; назначение; тип(вид) объекта; площадь (протяженность); местоположение (адресные данные) и др.

Исходя из технологической схемы методики, на I этапе «Подготовительные работы» выполнены следующие действия:

1) подбор базовых картографических материалов (топографические карты, специализированные тематические карты); 2) подбор соответствующего программного обеспечения и ресурсов (NextGIS, MapInfo Professional); 3) подготовка существующих геоданных с платформы NextGIS и анализ текущего состояния информационно-картографических ресурсов.

Результатом подготовительного этапа является сбор и оценка полного комплекта необходимой информации и инструментов для реализации дальнейших этапов.

На II этапе «Работа ГИС MapInfo Professional с растровым картографическим материалом» осуществляется регистрация и векторизация растровых карт в местной системе координат (МСК): необходимо преобразовать бумажный вид карт в электронный, пригодный для дальнейшей автоматизации процессов обработки и геоинформационного анализа.

Результатом данного этапа являются преобразованные и зарегистрированные в электронной форме ранее существовавшие карты (рис. 2).

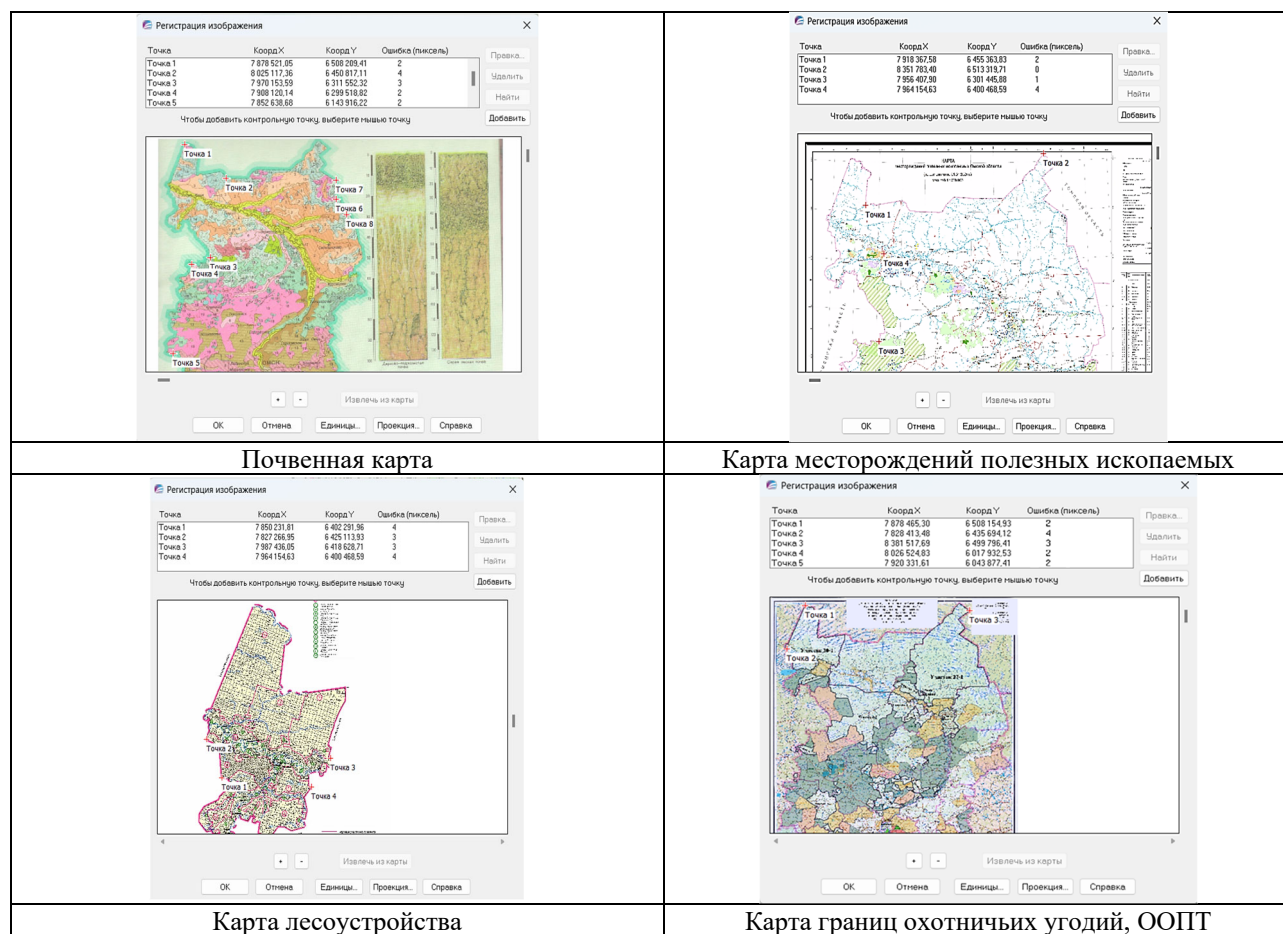


Рис. 2. Зарегистрированные растровые изображения в программе MapInfo Professional

На III этапе «Работа в ГИС MapInfo Professional по формированию и структурированию цифровых информационных слоев» посредством собранной информации и зарегистрированных растров осуществляется процесс формирования цифровых информационных слоев включающий структурирование информации по объектам природопользования, землепользования, недвижимости в

виде семантических данных и определение их типов, выборка и объединение.

Результатом III этапа являются цифровые информационные слои, созданные в ГИС MapInfo Professional, содержащие пространственные и атрибутивные данные, составляющие базы данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований (рис. 3).

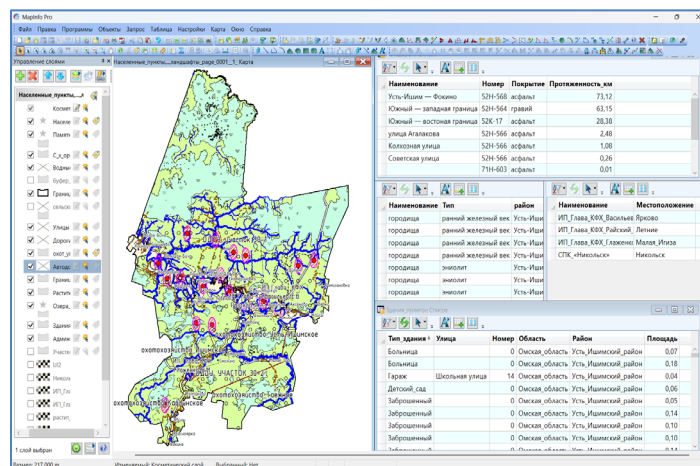


Рис. 3. Фрагмент окон баз данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований

Вся совокупность исходных данных, подготовленных на вышеобозначенных этапах, формирует базу данных исходной информации, готовой к специальной обработке и использованию в процессе прогнозирования и управления землепользованием.

На заключительном IV этапе «Работа с геоинформационной базой данных объектов земле- и природопользования» создается единая геоинформационная база данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований, обеспечивающая удобный доступ к данным и оперативному управлению.

Результатом IV этапа является разработанная геоинформационная база данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований северной зоны Омской области, созданная для целей управления землепользованием с возможностью интегрирования в НСПД, интегрирования с ГИС QGIS, создания муниципальных ГИС на основе созданных БД.

Созданная геоинформационная база данных является важным инструментом управле-

ния объектами земле- и природопользования на уровне муниципальных образований, позволяет оперативно получать и анализировать необходимую информацию о состоянии земельных ресурсов, создавать цифровые тематические карты, модели по обеспечению рационального использования природно-ресурсного потенциала, моделировать природоохранную деятельность.

Предлагаемая методика представляет собой универсальный подход к формированию качественной и информативной геоинформационной базы данных объектов земле- и природопользования, сформированной как совокупность геоинформационных слоев, содержащих семантическую и графическую информацию на уровне муниципального образования. БД позволяет хранить, обновлять, систематизировать и визуализировать информацию. Созданная БД является основой в автоматизированных земельно-имущественных системах, муниципальных ГИС, интеграции в НСПД и создании геопорталов.

Заключение

Таким образом, предлагаемая методика создания геоинформационной базы данных объектов земле- и природопользования муниципальных образований в виде поэтапной технологической схемы, позволит создать пространственно-координированную БД, необходимую для специалистов администраций муниципальных образований. Графическая визуализация БД в ГИС QGIS может являться элементом динамической геоинформационной системой.

Созданная база данных, состоящая из совокупности более 150 цифровых информационных слоев в шести муниципальных образованиях северной зоны Омской области, зарегистрирована в системе координат МСК55, что обеспечивает актуальность сведений, предоставляемых из ЕГРН в рамках межотраслевого взаимодействия и интеграции с НСПД в регионе.

В качестве дальнейшего результата применения сформированной БД планируется создание электронных цифровых карт (ЭЦК) «Перспективные направления использования природно-ресурсного потенциала», «Эколого-хозяйственный каркас территории» и других цифровых информационных моделей и тематических карт; интеграция в НСПД на уровне субъекта Российской Федерации; интеграция с ГИС QGIS. БД будет использоваться как основа для создания и наполнения муниципальной ГИС, создания региональной автоматизированной системы управления землепользованием, что позволит своевременно оценивать существующее геоэкологическое состояние территории, разрабатывать рекомендации по оптимизации земле- и природопользования, минимизировать экологические риски, формировать инвестиционные площадки, оперативно вносить изменения специалистами отделов земельно-имущественных отношений администраций на основании данных мониторинга и инвентаризации земель.

Пример базы данных Усть-Ишимского района, одного из муниципальных образований северной зоны Омской области, с интеграцией в ГИС QGIS представлен на рис. 4.

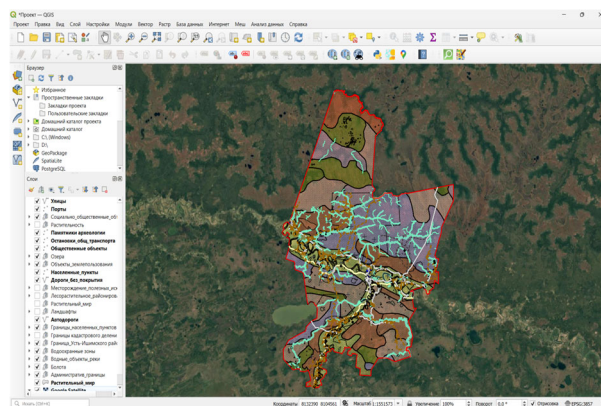


Рис. 4. Пример визуализации базы данных территории Усть-Ишимского района в ГИС QGIS

Базы пространственно-координированных данных содержат как графическую, так и семантическую (атрибутивную) информацию.

Фрагмент заполненных атрибутивных данных по слою «Водоохранные зоны» представлен в таблице.

Наименование объекта	Тип	Протяженность, км	Размер водоохранной зоны, м	Площадь ВОЗ, га	Примечание
Азгуль	Река	5,31	50,0	265,5	-
Белая	Река	4,51	50,0	225,5	-
Бича	Река	59,80	200,0	11 960,0	-
Вертенис	Река	50,00	100,0	5 000,0	-
Тентис	Река	82,61	200,0	16 522,0	-
Без названия	Ручей	8,61	50,0	430,5	-

Стоит отметить, что сформированные базы данных, их интеграция в ГИС QGIS и НСПД является важным геоинформационным ресурсом для управления землепользованием на региональном уровне: геоинформационные модели, построенные на основе БД, позволят осуществлять экологическое и эколого-хозяйственное районирование, ранжирование территорий по критериям пригодности почв и ландшафтов для ведения сельскохозяйственной и традиционной хозяйственной деятельности, основанной на потреблении естественных (биологических) ресурсов, актуальной для северных территорий Омской области.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-20045, <https://rscf.ru/project/25-27-20045/>.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Карпик А. П. Рациональное землепользование в системе современного пространственного развития страны, его основные принципы и механизмы. Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24, № 4. С. 232–246. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-232-246.
2. Турчин В. В., Громаков А. А., Мажуга Г. Е., Блинов Ю. Д. ГИС в экологии и природопользовании : методические рекомендации. Персиановский : Донской ГАУ, 2023. 51 с.
3. Гилева Л. Н., Подрядчикова Е. Д. Применение цифровых технологий при формировании карты экологических ограничений. Московский экономический журнал. 2023. Т. 8, № 3. С. 31–41. DOI 10.55186/2413046X_2023_8_3_98.
4. Дубровский А. В. Возможности применения геоинформационного анализа в решении задач мониторинга и моделирования пространственных структур. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. №5/5. С. 236–242. DOI 10.33764/2687-041X-2022-3-225-230.
5. Колесников А. А., Косарев Н. С., Немова Н. А. [и др.]. Создание базы данных техногенно-нарушенных территорий Новосибирской области. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 5. С. 80–92. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-80-92.
6. Тесленок К. С., Тесленок С. А. Геоинформационные технологии в управлении природными ресурсами. Актуальные проблемы гуманитарных и социально-экономических наук. 2016. Т. 10, № 4. С. 107–112.
7. Баталов Р. Н., Радченко Л. К. Обзор основных направлений использования ГИС-технологий в историко-картографических исследованиях. Вестник СГУГиТ. 2020. Т. 25, № 1. С. 119–135. DOI 10.33764/2687-041X-2022-3-225-230.
8. Подрядчикова Е. Д., Гилёва Л. Н. Современное состояние обработки пространственных данных с помощью технологий Big Data. Столыпинский вестник. 2022. № 4/2022. С. 2162–2170. DOI 10.55186/27131424_2022_4_4_4.
9. Бычков И. В. Создание инфраструктуры пространственных данных для управления регионом. География и природные ресурсы. 2013. № 2. С. 146–151.
10. Никишин А. М., Ершов А. В., Коротаев М. В., Болотов С. Н. Трёхмерная геоинформационная модель Государственной геологической карты России: принципы построения и компьютерные программы. Разведка и охрана недр. 2007. № 2-3. С. 29–34.
11. Дубровский А. В. Элементы геоинформационного обеспечения инвентаризационных работ. Вестник СГУГиТ. 2017. Т. 22, № 4. С. 78–91.
12. Шевин А. В. Геопорталы как базовые элементы инфраструктуры пространственных данных: анализ текущего состояния вопроса в России. Вестник СГУГиТ. 2016. Т. 35, № 3. С. 102–110.
13. Ершов А. В. Автоматизация сбора данных об объектах недвижимости: контроль достоверности и информационное обеспечение кадастровой оценки. Вестник СГУГиТ. 2018. Т. 23, № 3. С. 163–177.
14. Гиниятов И. А., Ильиных А. Л. Формирование информационной модели автоматизированной информационной системы мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. 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, 10–20 апреля 2012 г.). Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. С. 38–42.
15. Малыгина О. И. Создание земельно-информационной системы на территорию субъекта федерации на примере Новосибирской области ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр.

: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 3, ч. 2. С. 72–76.

16. 30 GIS Applications in Forestry [Электронный ресурс]. URL: <https://grindgis.com/gis/30-gis-applications-in-forestry>.

17. Donahue B. Mapping Husbandry In Concord: GIS As A Tool For Environmental History. Placing History: How Maps, Spatial Data, and GIS Are Changing Historical Scholarship. 2008.

18. Золотарева А. Е., Устюжанина З. С. Национальная система пространственных данных. Экспериментальная наука: механизмы, трансформации, регулирование : сборник статей Международной науч.-практ. конф. (Оренбург, 15 апреля 2025 г.). Уфа : Аэтерна, 2025. С. 108–111.

19. Мартынова Е. В. Направления формирования и обеспечения качества Национальной системы пространственных данных. Теория и практика общественного развития. 2023. – № 4 (182). С. 109–114. DOI 10.24158/tipor.2023.4.14.

20. Антропов Д. В., Чибиркина Е. А., Шаповалов Д. А., Комаров С. И. Концепция региональной автоматизированной системы прогнозирования землепользования. Вестник СГУГиТ. 2025. Т. 30, № 6. С. 128–136.

21. Комаров С. И. Структура геопортального решения для целей оценки ресурсного потенциала. Цифровизация землепользования и землеустройства: тенденции и перспективы. Междунар. науч.-практ. конф. : сб. материалов (Москва, 14 ноября 2023 г.). М. : ГУЗ, 2024. С. 78–85.

22. Макенова С. К., Степанова А. Ф. Динамика формирования структуры землепользования в северной зоне Омской области. Омский научный вестник. 2013. № 1 (118). С. 252–256.

23. Гилева Л. Н., Подрядчикова Е. Д. Цифровая картографическая основа обеспечения эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. 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. 94–101. DOI 10.33764/2618-981X-2022-3-94-101.

24. Алексеенко Н. А., Курамагомедов Б. М. Проектирование базы пространственных данных для особоохраняемых природных территорий. Актуальные проблемы экологии и природопользования : сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции: в 2 т., Москва, 25–27 апреля 2019 года. Российский университет дружбы народов. Том 2. М. : Российский университет дружбы народов (РУДН), 2019. С. 20–23.

25. Каргашин П. Е., Новаковский Б. А., Киселева С. В. [и др.] База пространственных данных для решения задач проектирования объектов возобновляемой энергетики. Геоинформатика. 2015. № 4. С. 2–9.

26. Меданова К. В., Балтабеков С. А. Геоинформационные технологии как основа создания картографического материала для мониторинга земель лесного фонда. Вестник СГУГиТ 2024. Т. 29, № 2. С. 86–99. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-86-99.

27. Платформа NextGIS [Электронный ресурс]. URL: <https://nextgis.ru/about/>.

REFERENCES

1. Karpik, A. P. (2019) Rational land use in the system of modern spatial development of the country, its basic principles and mechanisms. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(4). 232-246. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-232-246 [in Russian].

2. Turchin, V. V., Gromakov, A. A., Mazhuga, G. E., & Blinov, Yu. D. (2023) *GIS v jekologii i prirodopol'zovanii : metodicheskie rekomendacii [GIS in ecology and nature management : methodological recommendations]*. Persianovskij : Donskoy State Agrarian University Publ., 51 p. [in Russian].

3. Gileva, L. N., & Podrjadchikova, E. D. (2023) The use of digital technologies in the formation of a map of environmental constraints. *Moskovskij jekonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal]*, 8(3), pp. 31-41. DOI 10.55186/2413046X_2023_8_3_98 [in Russian].

4. Dubrovsky, A.V. (2015) The possibilities of using geoinformation analysis in solving problems of monitoring and modeling spatial structures. S/5, pp. 236-242. *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka* [*Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"*], DOI 10.33764/2687-041X-2022-3-225-230 [in Russian].
5. Kolesnikov A. A. (2023) Creation of a database of technologically disturbed territories in the Novosibirsk Region. *VestnikSGUGiT* [*Vestnik SSUGT*], 28(5). 80-92. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-80-92 [in Russian].
6. Teslenok, K. S., & Teslenok, S. A. (2016) Geoinformation technologies in natural resource management. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i social'no-jekonomicheskikh nauk* [*Current problems of the humanities and socio-economic sciences*], 10(4), 107-112 [in Russian].
7. Batalov, R. N., & Radchenko, L. K. (2020) An overview of the main directions of using GIS technologies in historical cartographic research *Vestnik SGUGiT* [*Vestnik SSUGT*], 25(1). 119-135. DOI 10.33764/2687-041X-2022-3-225-230 [in Russian].
8. Podrjadchikova, E. D., & Gileva, L. N. (2022) The current state of spatial data processing using Big Data technologies. *Stolypinskij vestnik* [*Stolypinsky Bulletin*], №4/2022, pp. 2162-2170. DOI 10.55186/27131424_2022_4_4_4 [in Russian].
9. Bychkov I. V. Creating a Spatial Data Infrastructure for Regional Management. *Geografiya i prirodnye resursy* [*Geography and natural resources*], 2, 146-151 [in Russian].
10. Nikishin, A. M., & Ershov, A. V., & Korotayev, M. V., & Bolotov, S. N. (2007) Three-Dimensional Geoinformation Model of the State Geological Map of Russia: *Construction Principles and Computer Programs* [*Exploration and protection of mineral resources*], №2-3, pp. 29–34 [in Russian].
11. Dubrovsky, A. V. (2017) Elements of geoinformation support for inventory work. *Vestnik SGUGiT* [*Vestnik SSUGT*], 22(4).78–91 [in Russian].
12. Shevin A. V. Geoportals as Basic Elements of Spatial Data Infrastructure: An Analysis of the Current State of the Issue in Russia *Vestnik SGUGiT* [*Vestnik SSUGT*], 35(3). 102–110 [in Russian].
13. Ershov A. V. Automation of Real Estate Data Collection: Verification and Information Support for Cadastral Assessment. *Vestnik SGUGiT* [*Vestnik SSUGT*], 23(3). 163–177 [in Russian].
14. Giniyatov, I. A., & Ilyinykh, A. L. (2012) Formation of an information model for an automated information system for monitoring agricultural lands *Interexpo Geo-Siberia* [*Interexpo Geo-Siberia*], 3(1), 38–42 [in Russian].
15. Malygina, O. I. (2010) Creation of a land information system for a federal subject using the Novosibirsk Region as an example *Interexpo Geo-Siberia* [*Interexpo Geo-Siberia*] 3 (2). 72–76 [in Russian].
16. 30 GIS Applications in Forestry. Retrieved from: <https://grindgis.com/gis/30-gis-applications-in-forestry>.
17. Donahue B. (2008). Mapping Husbandry In Concord: GIS As A Tool For Environmental History *Placing History: How Maps, Spatial Data, and GIS Are Changing Historical Scholarship*.
18. Zolotareva, A. E., & Ustyuzhanina, Z. S. (2025) National Spatial Data System. In *Sbornik statey International nauchno-prakticheskoy konferencii: [Experimental Science: Mechanisms, Transformations, and Regulation]* (pp. 108–111). Ufa: Aeterna LLC [in Russian].
19. Martynova, E. V. (2023) Directions for the formation and quality assurance of the National Spatial Data System *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya. [Theory and practice of social development]*, 4(182), 109–114. DOI 10.24158/tipor.2023.4.14 [in Russian].
20. Antropov D. V. (2025) Concept of a Regional Automated Land Use Forecasting System *VestnikSGUGiT* [*Vestnik SSUGT*], 30(6). 128–136. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-6-128-136 [in Russian].
21. Komarov S. I. (2024) Structure of a geoportal solution for resource potential assessment. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Cifrovizaciya zemlepol'zovaniya i zemleustrojstva: tendencii i perspektivy* [*Proceedings of International Scientific and*

Practical Conference: Digitalization of Land Use and Land Management: Trends and Prospects] (pp. 78-85) [in Russian].

22. Makenova, S. K., & Stepanova, A. F. (2013) Dynamics of land use structure formation in the northern zone of the Omsk region. *Omskij nauchnyj vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*, 1(118), 252-256 [in Russian].

23. Gileva, L. N., & Podrjadchikova, E. D. (2022) Digital cartographic basis for ensuring efficient use of agricultural land. *Interjekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]*, Vol. 3, pp. 94–101. DOI 10.33764/2618-981X-2022-3-94-101 [in Russian].

24. Alekseenko N. A. (2019) Design of a spatial data base for specially protected natural areas. In *Sbornik materialov XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya [Proceedings of XX International Scientific and Practical Conference: Current problems of ecology and nature management]* (pp. 20-23). Moscow: RUDN University Publ. [in Russian].

25. Kargashin P. E., Novakovsky B. A. & Kiseleva S. V. (2015). Spatial data base for solving problems in the design of renewable energy facilities. *Geoinformatika [Geoinformatics]*, No. 4, 2-9 [in Russian].

26. Medanova, K. V., & Baltabekov, S. A. (2024) Geoinformation technologies as a basis for creating cartographic material for monitoring forest lands. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 29(2). 86-99. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-86-99 [in Russian].

27. Platform NextGIS. Retrieved from: <https://nextgis.ru/about/>.

Об авторах

Лариса Николаевна Гилёва – кандидат географических наук, зав. кафедрой землеустройства.

Марина Николаевна Веселова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства.

Сайран Адильбекович Балтабеков – аспирант, ассистент кафедры землеустройства.

Алина Евгеньевна Дячук – магистрант, работник на условиях гражданско-правового договора на кафедре землеустройства.

Author details

Larisa N. Gileva – Ph. D., Head of the Department of Land Management.

Marina N. Veselova – Ph. D., Associate Professor, Department of Land Management.

Sairan A. Baltabekov – Ph. D. Student, Assistant, Department of Land Management.

Alina E. Dyachuk – Master Student, Department of Land Management.

Получено / Received 30.07.2025

Поступила после рецензирования / Revised 02.03.2026

Принята к публикации / Accepted 17.04.2026

Научно-теоретическая статья/Theoretical article

УДК [528.92:347.214.2]+528.48

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-155-164>

Методика информационного обеспечения Национальной системы пространственных данных результатами инженерных обследований объектов недвижимости

Д. А. Гура^{1,2✉}, Д. Б. Работягов¹

¹ Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Российская Федерация

² Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Российская Федерация

e-mail: gda-kuban@mail.ru

Аннотация. Национальная система пространственных данных призвана обеспечить интеграцию и совместимость пространственных данных различных ведомств и отраслей. В ее составе содержатся сведения топографо-геодезического, кадастрового и градостроительного характера, однако отсутствует информация о фактическом техническом состоянии объектов капитального строительства, получаемая в ходе технических обследований. В статье обосновывается необходимость включения результатов инженерных обследований в состав сведений Национальной системы пространственных данных, прежде всего в отношении объектов государственной и муниципальной собственности. Предлагается концепция внедрения реестровой карты технического состояния – цифровой записи, содержащей структурированную информацию о техническом состоянии зданий и сооружений, историю проведения обследований и рекомендации по безопасной эксплуатации объектов недвижимости.

Ключевые слова: техническое обследование, реестровая карта технического состояния, цифровизация, муниципальная собственность, техническое состояние, безопасность эксплуатации, капитальный ремонт

Для цитирования:

Гура Д. А., Работягов Д. Б. Методика информационного обеспечения Национальной системы пространственных данных результатами инженерных обследований объектов недвижимости. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 155–164. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-155-164>

A methodological framework for incorporating real estate engineering surveys into the National Spatial Data System

D. A. Gura^{1,2✉}, D. B. Rabotyagov¹

¹ Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation

² Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

e-mail: gda-kuban@mail.ru

Abstract. The National Spatial Data System (NSDS) is designed to ensure the integration and interoperability of spatial data across government agencies and sectors. While it encompasses topographic, geodetic, cadastral, and urban planning information, it lacks data on the actual technical condition of capital construction facilities obtained through technical inspections. The article substantiates the need to incorporate engineering survey results into the NSDS, with priority given to facilities under state and municipal ownership. A concept is proposed for implementing a registry

card of technical condition - a digital record containing structured information on the technical condition of buildings and structures, the history of inspections undertaken, and recommendations for the safe operation of real estate assets.

Keywords: technical inspection, technical condition register card, digitalization, municipal property, technical condition, operational safety, major repair

For citation:

Gura D. A., Rabotyagov D. B. (2026). A methodological framework for incorporating real estate engineering surveys into the National Spatial Data System. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 155–164. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-155-164>

Введение

Современное развитие строительной отрасли и сферы управления недвижимостью в России неразрывно связано с цифровизацией пространственных данных и формированием единого информационного пространства. Одним из ключевых элементов этой системы является Национальная система пространственных данных (НСПД).

НСПД представляет собой совокупность информационных ресурсов, технологий и регламентов, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, распространение и совместное использование пространственных данных различными уровнями власти, организациями и гражданами. Ее правовая основа определена Постановлением Правительства РФ от 1 декабря 2021 г. № 2148 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Национальная система пространственных данных"», которое устанавливает принципы создания, ведения, использования и предоставления пространственных данных, и Постановлением Правительства РФ от 7 июня 2022 г. № 1040 «О федеральной государственной географической информационной системе "Единая цифровая платформа Национальная система пространственных данных"», регулирующим взаимодействие государственных информационных ресурсов [1].

Цель создания НСПД – обеспечить доступность, сопоставимость и актуальность пространственной информации, а также повысить эффективность государственного управления и инвестиционной деятельности. Национальная система пространственных данных является ключевым элементом формирования единого цифрового пространства данных в Российской Федерации [2].

НСПД формируется как распределенная информационная среда, где данные размеща-

ются на ведомственных платформах, но становятся доступными через единые механизмы поиска и доступа. В ее состав входят сведения топографо-геодезического, кадастрового, градостроительного, экологического и иного характера. Значительную часть данных предоставляют Росреестр, Минстрой России, субъекты РФ и муниципалитеты [1, 3].

На базе НСПД реализуется широкий спектр сервисов, разделенных на базовые государственные и дополнительные прикладные [1, 4, 5].

1. Базовые сервисы НСПД (установлены постановлениями Правительства РФ):

- поиск пространственных данных по ключевым словам, тематике, региону, источнику и дате актуализации;
- просмотр пространственных данных через веб-интерфейс геопортала (в том числе наложение слоев, масштабирование, измерения, выборка атрибутов);
- загрузка пространственных данных в установленных форматах (GML, GeoJSON, SHP, TIFF и др.) – в зависимости от уровня доступа;
- получение метаданных об источнике, периодичности обновления, правовом режиме использования;
- API-доступ к данным – автоматизированный обмен между НСПД и внешними ГИС и программными решениями.

2. Дополнительные прикладные сервисы (развиваются субъектами РФ, федеральными ведомствами и частными организациями на базе НСПД):

- интеграция с градостроительными ГИС – автоматическое получение актуальной топографической основы, правил землепользования и застройки (ПЗЗ), градостроительного плана земельного участка (ГПЗУ) и схем территориального планирования;

- аналитические сервисы пространственного анализа – наложение различных слоев, зонирование, анализ инфраструктурных ограничений;
- публикация ведомственных данных через НСПД (включая данные региональных органов власти, кадастровые карты, транспортные схемы и др.);
- интеграция с BIM-моделями и системами управления строительством;
- инструменты визуализации и построения тематических карт, включая публичные геопорталы субъектов РФ.

Сервисы НСПД на официальном портале <https://nspd.gov.ru> представлены на рис. 1.

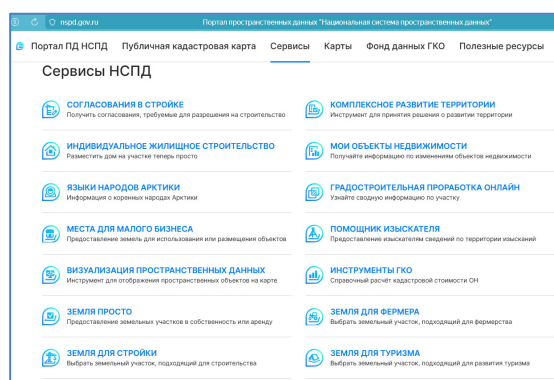


Рис. 1. Сервисы НСПД на официальном портале <https://nspd.gov.ru>

Методы и материалы

Несмотря на развитую нормативно-технологическую базу, в настоящее время отсутствует единый цифровой контур, отражающий фактическое техническое состояние объектов капитального строительства на основе результатов технических обследований [6]. Эти сведения:

- не входят в перечень обязательных пространственных данных;
- не имеют утвержденного формата представления для НСПД;
- не регламентирован порядок их передачи в общую базу данных от обследовательских организаций и органов власти.

На практике данные обследования носят фрагментарный характер и хранятся в технических заключениях, ведомственных базах и бумажных архивах. Отсутствие централизованного учета затрудняет планирование капитальных ремонтов, управление рисками ава-

рий, а также реализацию концепций «умного города» и пространственного развития территорий [7].

Проблема особенно актуальна для объектов государственной и муниципальной собственности, составляющих значительную часть социальной инфраструктуры. Своевременное обновление данных о техническом состоянии таких зданий напрямую влияет на безопасность граждан и эффективность бюджетных расходов [8,9].

Информационная модель объекта капитального строительства, формируемая в соответствии со статьей 57.5 Градостроительного кодекса Российской Федерации, а также системы государственного информационного обеспечения градостроительной деятельности (ГИСОГД), может рассматриваться как один из источников формирования сведений о техническом состоянии объектов недвижимости. Вместе с тем эти системы ориентированы преимущественно на задачи проектирования, строительства и градостроительного регулирования и не обеспечивают комплексного учета эксплуатационной стадии жизненного цикла объектов, особенно в отношении существующего фонда застройки. В этой связи Национальная система пространственных данных рассматривается как системный уровень интеграции, обеспечивающий централизованное хранение, сопоставимость и межведомственное использование сведений о техническом состоянии объектов недвижимости независимо от источника их формирования.

Несмотря на наличие в Российской Федерации региональных геоинформационных систем, в том числе ГИСОГД, включение сведений о результатах технических обследований целесообразно осуществлять непосредственно в Национальную систему пространственных данных.

НСПД представляет собой единую федеральную цифровую платформу, обеспечивающую интеграцию и сопоставимость пространственных данных на всех уровнях управления. Размещение сведений о результатах технических обследований в НСПД позволяет избежать фрагментации и дублирования информации, характерных для региональных и ведомственных систем, имеющих различную структуру и регламенты ведения [1,3,5].

ГИСОГД ориентированы преимущественно на задачи градостроительного плани-

рования, в то время как сведения о техническом состоянии относятся к эксплуатационной стадии жизненного цикла объекта недвижимости. НСПД, в отличие от ГИСОГД, предназначена для интеграции разнородных пространственных и атрибутивных данных, включая кадастровые, градостроительные и эксплуатационные [10].

Кроме того, НСПД обеспечивает единые форматы данных, централизованную проверку и межведомственный доступ, что особенно важно для сведений, связанных с обеспечением безопасности и принятием управленческих решений. Размещение сведений о результатах технических обследований непосредственно в НСПД позволяет сформировать единый федеральный контур мониторинга технического состояния объектов, в том числе государственной и муниципальной собственности, с применением технологий лазерного сканирования.

Включение сведений о результатах технических обследований в НСПД является перспективным направлением развития национальной системы пространственных данных. Это позволит обеспечить комплексный подход к управлению жизненным циклом объектов недвижимости, создать единый цифровой контур мониторинга объектов недвижимости и повысить качество управленческих решений.

Техническое обследование представляет собой комплекс мероприятий по определению фактического состояния строительных конструкций и инженерных систем, направленных:

- на оценку пригодности объекта к эксплуатации;
- определение необходимости ремонта, реконструкции или сноса;
- подготовку проектной документации;
- обеспечение безопасности эксплуатации.

Такая информация имеет ключевое значение для принятия решений, планирования ремонтов и оценки износа, особенно в отношении школ, больниц, детских садов и других социально значимых объектов государственной и муниципальной собственности. Эти здания имеют повышенный класс ответственности, так как связаны с безопасностью большого числа граждан [10].

Таким образом, результаты обследований имеют не только техническое, но и важное социальное значение, особенно применительно к объектам образования, здравоохранения и культуры.

Проведение обследований регламентируется целым рядом нормативно-правовых актов, основными из которых являются Федеральный закон № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (ст. 16) и ГОСТ 31937–2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [10, 11].

В настоящее время определены основные случаи, когда проведение технического обследования зданий и сооружений является обязательным (табл. 1).

Таблица 1. Обязательные случаи проведения технического обследования зданий и сооружений

Когда необходимо проведение обследования	Нормативное основание	Комментарий
Капитальный ремонт, реконструкция, модернизация	ГрК РФ, ст. 48.1; ПП РФ № 87 от 16.02.2008; СП 13-102–2003; ГОСТ 31937–2024	Обязательное обследование перед проектированием
Изменение функционального назначения здания	Письмо Минстроя РФ от 02.09.2016 № 28483-АЧ/04; СП 13-102–2003; ГОСТ 31937–2024	Требуется анализ возможности эксплуатации после переустройства
Авария, повреждение, чрезвычайная ситуация	ФЗ № 384-ФЗ, ст. 16; ГОСТ 31937–2024	При наличии деформаций, трещин и других повреждений обследование обязательно
Признание здания аварийным или подлежащим сносу	ПП РФ № 47 от 28.01.2006; ГОСТ 31937–2024	Результаты обследования – основа для принятия решения о сносе/реконструкции
Включение в программу капитального ремонта многоквартирного дома	Жилищный кодекс РФ, ст. 166; ГОСТ 31937–2024	Обследования определяют очередность ремонта и обоснованность работ
Реконструкция или техническое перевооружение	СП 13-102–2003; Приказ Минстроя № 783/пр от 12.05.2017; ГОСТ 31937–2024	Нормативно закреплено обследование для принятия проектных решений

Проведение технических обследований зданий и сооружений позволяет получать объективные сведения об их фактическом состоянии. Отчеты составляются по заказу собственников или эксплуатирующих организаций, оформляются в бумажном и электронном виде, но не подлежат включению в государственные реестры. Законодательство не предусматривает централизованной передачи или публикации результатов обследований, поэтому отчеты носят разрозненный характер, часто хранятся локально или теряются при смене владельцев[12,13].

В результате отсутствует централизованный контроль состояния объектов, невозможно выстроить единую систему мониторинга и планирования ремонтов, а риски аварий, особенно на объектах муниципальной собственности, остаются высокими[14]. Органы власти не располагают единым механизмом мониторинга технического состояния недвижимости, что препятствует эффективному управлению и оперативному реагированию при дефиците бюджетных средств.

Результаты

Актуальной задачей становится включение данных технических обследований в состав сведений НСПД, прежде всего для объектов государственной и муниципальной собственности. При этом обследования целесообразно проводить не на этапе постановки на учет, а в процессе эксплуатации – при увеличении физического износа или необходимости реконструкции[15].

Для объектов публичной собственности проведение обследований уже предусмотрено государственными и муниципальными программами и финансируется из бюджетов. Это позволяет без создания новых экономических стимулов встроить обновление данных в действующие механизмы. Кроме того, наличие ведомственных реестров, систем учета и регламентов упрощает автоматизированную передачу сведений в НСПД.

Особое значение имеет социальный аспект: школы, больницы, учреждения культуры и другие объекты напрямую влияют на безопасность граждан, а аварии на них могут иметь серьез-

ные последствия. Системная фиксация результатов обследований в НСПД повысит достоверность пространственных данных и создаст основу для превентивного контроля и своевременного планирования ремонтов[13].

Нормативная база для внедрения уже существует: федеральные законы № 218-ФЗ, № 384-ФЗ, Градостроительный и Жилищный кодексы РФ закрепляют обязанности собственников по обеспечению безопасной эксплуатации объектов. Расширение этих норм в части обязательной передачи данных обследований в НСПД потребует минимальных изменений в действующих механизмах государственного управления[14,16].

Для решения этой задачи предлагается ввести реестровую карту технического состояния (РКТС) – специализированный цифровой слой НСПД, содержащий структурированную информацию о результатах технических обследований зданий и сооружений.

РКТС представляет собой электронную запись, привязанную к пространственным координатам и кадастровому номеру объекта недвижимости, и формируется на основании технических заключений, подготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ 31937–2024 и других нормативных документов.

Для усиления превентивной функции РКТС предлагается ввести специальный логический индикатор – флаг «Повышенный риск». Он устанавливается в случаях:

- когда объект отнесен к ограниченно работоспособному или аварийному состоянию;
- выявлены дефекты, способные привести к развитию аварийных процессов;
- эксплуатация объекта связана с массовым пребыванием людей (школы, больницы, детские сады и т. д.).

Наличие такого флага позволяет быстро выявлять потенциально опасные объекты в системе НСПД, использовать их для приоритетного мониторинга, планирования внеочередных обследований, ремонта и принятия управленческих решений.

Ключевые элементы РКТС должны включать:

- идентификационные данные объекта (кадастровый номер, адрес, назначение, год ввода в эксплуатацию, собственника);

- метаданные обследования (дату, основание, вид – плановое/внеочередное, организацию-исполнителя с реквизитами допуска, квалифицированную электронную подпись);

- результаты и оценку (категорию технического состояния по ГОСТ 31937–2024, описание критических дефектов, флаг «Повышенный риск» (акцентирование на безопасности));

- рекомендации и сроки устранения дефектов, а также дату следующего планового обследования;

- связанные материалы: реквизиты технического заключения, фотофиксацию, схемы и ссылки на связанные информационные системы (ГИС ЖКХ, региональные программы капитального ремонта);

- историю изменений: версию РКТС, отметки о предыдущих обследованиях, ссылки на замененные записи.

Интеграция РКТС в НСПД предполагает создание отдельного тематического слоя в информационно-пространственной среде системы[15].

Реестровая карта технического состояния:

- будет связана с кадастровыми и градостроительными данными через идентификаторы объектов и пространственные координаты;

- обновляться на основе данных, поступающих от аккредитованных обследовательских организаций, органов власти или операторов программ капитального ремонта;

- доступна через веб-интерфейс НСПД, API и сервисы пространственного анализа.

РКТС может быть реализована:

- в виде отдельного набора пространственных данных (например, в формате GML или GeoJSON);

- XML/JSON-схем, совместимых с действующими стандартами НСПД;

- сервиса публикации и обновления данных обследований с возможностью их интеграции с другими цифровыми системами (ГИС ЖКХ, региональные кадастровые системы, BIM-платформы и др.).

Таким образом, РКТС органично дополняет существующую структуру НСПД, не

нарушая ее архитектуру, а расширяя функциональность за счет технической информации об объектах.

Итоговый вид сведений об объекте недвижимости с включением РКТС представлен в табл. 2.

Таблица 2. Предлагаемые к включению в НСПД сведения в составе раздела «Реестровая карта технического состояния»

Номер государственного контракта либо договора на обследование
Дата проведения обследования
Организация, проводившая обследование
Статус объекта (памятник архитектуры, исторический памятник и т. д.)
Тип проекта объекта
Проектная организация, проектировавшая объект
Строительная организация, возводившая объект
Год и характер выполнения последнего капитального ремонта или реконструкции
Сведения о выполненных ремонтах, реконструкциях, переустройствах
Объемно-планировочное и конструктивное решение здания
Период основного тона собственных колебаний (вдоль продольной и поперечной осей)
Крен объекта (вдоль продольной и поперечной осей)
Физический износ конструктивных элементов объекта
Установленная категория технического состояния объекта
Рекомендации по результатам обследования

Несмотря на то что техническое обследование, как правило, проводится перед капитальным ремонтом или реконструкцией, его результаты не теряют своей значимости и после выполнения ремонтных работ. Такие сведения отражают фактическое состояние объекта на конкретный момент времени и являются важным элементом его эксплуатационной истории. Включение данных обследований в НСПД позволяет формировать последовательность состояний объекта в рамках его жизненного цикла, а не ограничиваться фиксацией только актуального состояния, что особенно важно для оценки рисков, планирования ремонтов и анализа технического износа объектов государственной и муниципальной собственности.

Обсуждение

Источниками данных для формирования реестровой карты технического состояния предполагается считать организации, имеющие право на проведение технического обследования зданий и сооружений в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации. К таким организациям относятся юридические лица и индивидуальные предприниматели, являющиеся членами саморегулируемых организаций (СРО) в области инженерных изысканий и обследования зданий и сооружений, имеющие специалистов, включенных в национальные реестры специалистов, и использующие поверженные средства измерений. Результаты обследований оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 31937–2024 и подписываются усиленной квалифицированной электронной подписью, что обеспечивает их юридическую значимость и достоверность при включении в НСПД.

РКТС в рамках НСПД осуществляется по следующему принципу: организация, проводящая техническое обследование объекта капитального строительства, формирует электронный пакет данных, включающий структурированную информацию, техническое заключение и усиленную квалифицированную электронную подпись. Указанный пакет передается в централизованную информационную инфраструктуру НСПД, предназначенную для хранения, обработки и интеграции пространственных и атрибутивных данных, через сервисы обмена данными в установленных форматах (XML/JSON/GML).

После прохождения автоматизированной и выборочной проверки качества (контроль структуры, полноты и достоверности сведений) данные включаются в состав РКТС как актуальная версия, связанная с конкретным объектом недвижимости. Таким образом формируется единый жизненный цикл данных о техническом состоянии объекта – от первичного обследования до последующих обновлений, что обеспечивает накопление достоверной и отслеживаемой истории изменений.

Интеграция РКТС может быть реализована:

- как самостоятельный слой НСПД, связанный с кадастровыми и градостроительными данными;
- цифровое приложение к техническим и градостроительным документам, обновляемое при реконструкции и ремонтах;
- элемент единого формата данных, совместимого с другими государственными системами.

Общая логика формирования и интеграции реестровой карты технического состояния в НСПД представлена на рис. 2.

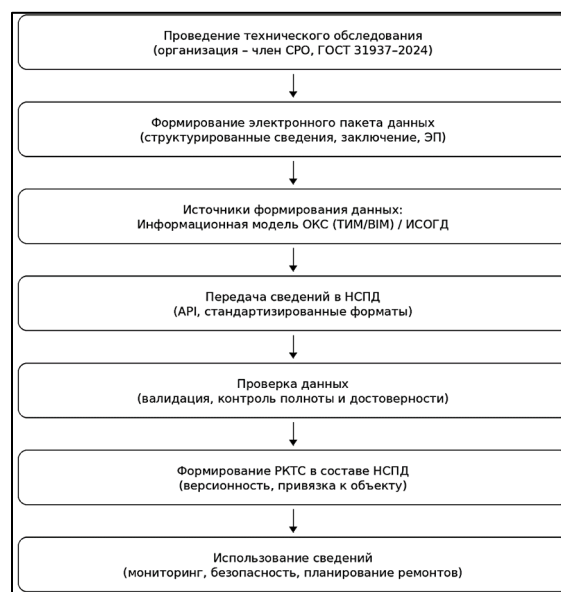


Рис. 2. Блок-схема формирования и интеграции реестровой карты технического состояния объектов недвижимости в Национальную систему пространственных данных

Внедрение РКТС требует поэтапной работы:

- нормативный этап: закрепление правовой базы, определение состава данных и форматов обмена;
- технологический: разработка цифровых шаблонов, API и пространственной привязки;
- интеграционный: наладка взаимодействия с обследовательскими организациями и ведомственными системами, проверка качества данных, пилотные проекты;
- эксплуатационный: включение РКТС в НСПД как отдельного слоя, доступного органам власти и экспертным организациям.

Нормативная база (ГрК РФ, ФЗ № 384-ФЗ, ГОСТ 31937–2024 и др.) уже предусматривает обязательность обследований в ряде случаев: при капремонтах, реконструкциях, изменении назначения зданий и ЧС. Однако данные остаются фрагментарными и не интегрированы в НСПД, что исключает их использование как единого источника достоверной информации.

Актуализацию сведений реестровой карты технического состояния в составе НСПД предполагается осуществлять в событийном порядке. Основаниями для обновления данных являются проведение капитального ремонта или реконструкции объекта, выполнение внеочередных технических обследований, изменение функционального назначения здания, а также выявление аварийных и предаварийных состояний. После проведения капитального ремонта актуализация РКТС может осуществляться на основании контрольного обследования либо анализа проектной и исполнительной документации, что позволяет отразить изменение технического состояния объекта без избыточного дублирования обследований.

Заключение

Предлагаемый механизм внедрения РКТС создает цифровой контур управления жизненным циклом объектов недвижимости. Это

особенно важно для государственной и муниципальной собственности, где актуальные данные напрямую влияют на безопасность, планирование бюджетных расходов, ремонты и предотвращение аварий.

Интеграция РКТС в НСПД обеспечит:

- формирование достоверной истории технического состояния;
- повышение прозрачности и эффективности управленческих решений;
- развитие аналитических инструментов и мониторинга;
- межведомственное взаимодействие на единой цифровой платформе.

Реализация концепции повысит безопасность граждан, оптимизирует бюджетные расходы и улучшит управление пространственными данными на всех уровнях.

В перспективе дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку концепции цифрового паспорта технической безопасности зданий, расширение аналитических модулей НСПД, применение технологий искусственного интеллекта для прогнозирования износа и рисков, а также на совершенствование правовых механизмов обмена и актуализации данных, включая результаты лазерного сканирования объектов недвижимости. Это позволит создать устойчивую цифровую среду для эффективного управления недвижимостью на всех уровнях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гура Д. А., Тихонов Т. А., Серпухов И. С., Захарова Е. С., Фоменко Л. Ю. Геопространственное обеспечение трехмерными данными НСПД в рамках разработки модуля «Умный городской кадастр». Московский экономический журнал. 2025. Т. 10, № 7. С. 204–219.
2. Дьяченко Р. А., Гура Д. А., Осенняя А. В. [и др.] Разработка структуры информационной системы геопространственных данных для решения задач территориального планирования. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2024. Т. 68, № 4. С. 87–99.
3. Трухин, Ю. Г. Трухина Н. И., Вязов Г. Б. Необходимые решения задач в развитии и интенсификации современного градостроительства. Недвижимость: экономика, управление. 2024. № S3. С. 108–111.
4. Кирюникова Н. М., Гура Д. А., Лесовая Э. В. Программное обеспечение системы наблюдений за состоянием объектов инфраструктуры. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020. Т. 47, № 3. С. 60–70.
5. Шевчук Е. А., Першин В. А., Крылов С. Н. Цифровизация государственного кадастрового учета и перспективы развития ЕГРН. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2024. № 7. С. 15–24.
6. Василенко Д. В., Пермяков Р. В. Классификация фотограмметрических облаков точек, полученных по стереопарам космических снимков в ЦФС PHOTOMOD для решения градостроительных задач. Геодезия и картография. 2025. Т. 86, № 4. С. 40–47.

7. Потехин И. А., Добросоцких М. Г., Понявина Н. А., Сотникова М. А. Развитие организации строительного производства за счет усиления интеграции геотехнических функций в BIM-системах. Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2023. № 4 (54). С. 8–19.
8. Новиков С. С. Перспективы использования фотограмметрического метода определения координат характерных точек границ земельного участка при выполнении кадастровых работ. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2024. Т. 68, № 6. С. 87–97.
9. Ноздрачев В. А. Разработка методики и технологии кадастрового учета и землеустройства линейных объектов транспорта : автореферат дисс. ... канд. техн. наук : спец. 25.00.26 Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. Ноздрачев Владислав Александрович. Москва, 2017. 24 с.
10. Фролов Н. В., Дрокин С. В. Основы обследования технического состояния зданий и сооружений. Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2024. 120 с.
11. Сулейманова Л. А., Крючков А. А., Рябчевский И. С. Теоретические и правовые основы технической диагностики зданий и сооружений : конспект лекций. Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. 92 с.
12. Бровко Е. А., Софинов Р. Э. Актуализация пространственных данных методом государственного топографического мониторинга в целях реализации государственной программы Российской Федерации «Национальная система пространственных данных»: проблемы и решения. Геодезия и картография. 2022. Т. 83, № 3. С. 14–22.
13. Стариков А. Ю., Клесов Н. А., Федюков Д. Ю. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023620598 Российская Федерация. База данных «Контроль объектов недвижимости. ТОРИС. ver. 2021» : № 2023620334 : заявл. 09.02.2023 : опубл. 16.02.2023. Заявитель Санкт-Петербург, от имени которого выступает Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Управление информационных технологий и связи».
14. Федотов И. П., Сапрыкин А. Г. Информационные технологии в учете и управлении недвижимостью. Геодезия и картография. 2023. № 9. С. 37–45.
15. Работягов Д. Б., Гулякин Д. В. Сущность и содержание этапов научного исследования. Научные технологии и интеллектуальные системы. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2018 № 34. С. 55–58.
16. Литвиненко Н. В., Панина О. Ю. Совершенствование правового регулирования технического обследования зданий и сооружений. Строительная экспертиза. 2024. № 4. С. 60–70.

REFERENCES

1. Gura D. A., Tikhonov T. A., Serpukhov I. S., Zakharova E. S., Fomenko L. Yu (2025). Geospatial support of three-dimensional data of the National Data Bank within the framework of the development of the "Smart City Cadastre" module. *Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal [Moscow Economic Journal]*. Vol. 10, No. 7. Pp. 204–219 [in Russian].
2. Dyachenko R. A., Gura D. A., Osennyyaya A. V. [et al.] (2024). Development of the structure of the information system of geospatial data for solving territorial planning problems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'yemka. [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]* Vol. 68, No. 4. Pp. 87–99 [in Russian].
3. Trukhin, Yu. G. Trukhina N. I., Vyazov G. B. (2024). *Necessary solutions to problems in the development and intensification of modern urban planning*. Real Estate: Economics, Management No. S3. P. 108–111 [in Russian].
4. Kiryunikova N. M., Gura D. A., Lesovaya E. V. (2020). Software for the infrastructure facilities monitoring system *Vestnik DGTU. Tekhnicheskiye nauki. [Bulletin of DSTU. Technical Sciences]*. Vol. 47, 3, p. 60–70 [in Russian].
5. Shevchuk E. A., Pershin V. A., Krylov S. N. (2024). Digitalization of state cadastral registration and prospects for the development of the Unified State Register of Real Estate. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'. [Land management, cadastre and land monitoring]* No. 7. P. 15–24 [in Russian].
6. Vasilenko, D. V., Permyakov R. V. (2025). Classification of photogrammetric point clouds obtained from stereopairs of space images in the PHOTOMOD digital photogrammetric system for solving

urban planning problems. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and cartography]* Vol. 86, No. 4. Pp. 40-47 [in Russian].

7. Potekhin I. A., Dobrosotskikh M. G., Ponyavina N. A., Sotnikova M. A. (2023). Development of the organization of construction production by strengthening the integration of geotechnical functions in BIM systems. *Nauchnyy zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya [Scientific journal. Engineering systems and structures]* No. 4 (54). P. 8-19 [in Russian].

8. Novikov, S. S. (2024). Prospects for using the photogrammetric method for determining the coordinates of characteristic points of a land plot's boundaries when performing cadastral works. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'yemka. [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]* Vol. 68, No. 6. P. 87-97 [in Russian].

9. Nozdrachev V. A. (2017). *Razrabotka metodiki i tekhnologii kadaastrovogo ucheta i zemleustroystva lineynykh ob'ektov transporta [Development of the methodology and technology of cadastral registration and land management of linear transport facilities]* Candidate's thesis. Moscow 24 p. [in Russian].

10. Frolov, N. V., Drokin S. V. (2024). *Osnovy obsledovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzheniy [Fundamentals of survey of the technical condition of buildings and structures]* Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhova, 120 p. [in Russian].

11. Suleimanova, L. A., Kryuchkov A. A., Ryabchevsky I. S. (2023). *Teoreticheskiye i pravovyye osnovy tekhnicheskoy diagnostiki zdaniy i sooruzheniy [Theoretical and legal foundations of technical diagnostics of buildings and structures]* Lecture notes - Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 92 p. [in Russian].

12. Brovko, E. A., Sofinov R. E. (2022). Updating spatial data using the state topographic monitoring method for the implementation of the state program of the Russian Federation "National Spatial Data System": problems and solutions. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and cartography]* Vol. 83, No. 3. P. 14–22 [in Russian].

13. Starikov A. Yu., Klesov N. A., Fedyukov D. Yu. (2023). Certificate of state registration of the database No. 2023620598 Russian Federation. Database "Real Estate Monitoring. TORIS. ver. 2021": No. 2023620334: declared 02/09/2023: published 02/16/2023 / applicant St. Petersburg, on whose behalf the St. Petersburg State Budgetary Institution "Department of Information Technology and Communications" acts. [in Russian].

14. Fedotov I. P., Saprykin A. G. (2023). Information technologies in real estate accounting and management. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and cartography]* No. 9. P. 37-45 [in Russian].

15. Rabotyagov D. B., Gulyakin D. V. (2018). The essence and content of the stages of scientific research. Science-intensive technologies and intelligent systems. *Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [Collection of articles from the International scientific and practical conference]* No. 34. Pp. 55-58 [in Russian].

16. Litvinenko N. V., Panina O. Yu. (2024). Improving the legal regulation of technical inspection of buildings and structures. *Stroitel'naya ekspertiza. [Construction expertise]* No. 4. P. 60–70 [in Russian].

Об авторах

Дмитрий Андреевич Гура – кандидат технических наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой кадастра и геоинженерии.

Дмитрий Борисович Работягов – магистр кафедры кадастра и геоинженерии.

Author details

Dmitry A. Gura – Ph. D., Associate Professor, Acting Head of the Department of Cadastre and Geoengineering.

Dmitry B. Rabotyagov – Master Student, Department of Cadastre and Geoengineering.

Получено / Received 13.11.2025

Поступила после рецензирования / Revised 19.01.2026

Принята к публикации / Accepted 09.04.2026

Научно-практическая статья/Research article

УДК 631:502.173(574)

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-165-175>

Формирование системы мониторинга для выявления неиспользуемых сельскохозяйственных земель Республики Казахстан

Т. Т. Жагипарова ¹, О. С. Музыка ¹, Н. И. Добротворская ^{2✉}, О. И. Малыгина ²

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
г. Астана, Республика Казахстан

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

e-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности мониторинга земель сельскохозяйственного назначения с целью выявления неиспользуемых сельскохозяйственных угодий и принятия управленческих мер на территории Республики Казахстан. Целью исследования являлось обоснование системы мониторинга, представляющей собой сочетание методов дистанционного зондирования Земли с использованием нормализованного относительного вегетационного индекса (NDVI) с методами статистического и кадастрово-правового анализа для оценки состояния и использования сельскохозяйственных угодий. Для расчета индекса NDVI использовались видимые и ближние инфракрасные каналы спутниковой системы Sentinel-2. Полученные кривые индекса в течение вегетационного периода позволили выявить различия в способах использования пахотных угодий. На основе этих данных составлена цифровая карта использования земель на территории административного района и осуществлен расчет площади неиспользуемой пашни. Для выявления общей площади неиспользуемых пастбищных угодий осуществлялся анализ кадастрово-правовой и статистической отчетной документации. Систематизированная информация важна для управления земельными ресурсами и охраны земель Республики Казахстан.

Ключевые слова: земли сельскохозяйственного назначения, мониторинг земель, космические снимки, индекс вегетации, сельскохозяйственные угодья, управление земельными ресурсами, дистанционное зондирование Земли

Для цитирования:

Жагипарова Т. Т., Музыка О. С., Добротворская Н. И., Малыгина О. И. Формирование системы мониторинга для выявления неиспользуемых сельскохозяйственных земель Республики Казахстан. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 165–175. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-165-175>

A framework for monitoring and mapping unused agricultural lands in Kazakhstan

T. T. Zhagiparova ¹, O. S. Musica ¹, N. I. Dobrotvorskaya ^{2✉}, O. I. Malygina ²

¹ Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Republic of Kazakhstan

² Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

Abstract. The article addresses approaches to monitoring agricultural lands aimed identifying unused farmland and supporting management decisions in the Republic of Kazakhstan. The objective of the study was to substantiate a monitoring system that combines remote sensing methods using the normalized difference vegetation index (NDVI) as well as statistical and cadastral-legal analyses to assess the condition and use of agricultural lands. NDVI was derived from the visible and near-infrared bands of the Sentinel-2 satellite. Seasonal NDVI time series allowed detection of differences in arable land use. Using these data, a digital land-use map for the administrative district was produced, and the area of unused arable land was estimated. The total area of unused pasture land was determined through analysis of cadastral records and statistical reports. The compiled information provides a systematic basis for land-resource management and land protection in the Republic of Kazakhstan.

Keywords: land monitoring, satellite images, vegetation index, land management, remote sensing

For citation:

Zhagiparova T. T., Musica O. S., Dobrotvorskaya N. I., Malygina O. I. (2026). A framework for monitoring and mapping unused agricultural lands in Kazakhstan. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 165–175. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-165-175>

Введение

Земли сельскохозяйственного назначения в Казахстане имеют особый правовой статус, согласно которому они подлежат охране, направленной на сохранение их площади и повышение плодородия. Однако за последние десятилетия в результате перехода страны к рыночной экономике большая часть земель сельскохозяйственного назначения вышла из оборота. Это явление обусловлено рядом экономических и экологических причин. Большая часть посевных площадей республики находится в зоне рискованного земледелия, урожайность сельскохозяйственных культур в значительной степени зависит от погодных условий и зачастую не покрывает затрат на производство продукции. Ситуация обостряется низкой экологической устойчивостью степных ландшафтов к деградационным процессам: водной и ветровой эрозии, что приводит к снижению уровня плодородия земель и без того не очень высокого. Неиспользуемые земли довольно быстро зарастают древесно-кустарниковой растительностью. Низкая рентабельность производства и необходимость инвестиций в первичные мелиоративные мероприятия для возврата в оборот неиспользуемых земель обуславливают отток товаропроизводителей из сельскохозяйственной отрасли.

Законодательством Республики Казахстан (статьи 92, 94 и 145 Земельного кодекса РК от

20 июня 2003 г. с изменениями и дополнениями на 2025 г.) предусмотрен возврат неиспользуемых земель в оборот путем изъятия земельных участков в пользу государства и последующую передачу в собственность иного пользователя. Табл. 1 демонстрирует масштабы этого процесса.

Таблица 1. Динамика выявленных и возвращенных в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель в Республике Казахстан

Год	Площадь возвращенных неиспользуемых земель, га	Источник
2010	32 700 000	Cyberleninka (Барсукова, 2021)
2022	5 200 000	eldala.kz / выступления Минсельхоза (2022)
2023	4 600 000	Минсельхоз / СМИ (2023)
2024	2 100 000	Минсельхоз / СМИ (2024)
С 2022–2025 гг.	13 700 000	Минсельхоз / СМИ (2022–2025)

Следует отметить, что приведенные цифры отражают площадь всех видов сельскохозяйственных угодий, возвращенных в оборот, включая пашни, сенокосы и пастбища. При этом только площадь неиспользуемой пашни (особо ценного вида угодий) со-

ставляла на апрель 2024 г. 13 млн га, из которых 5,4 млн планируется вернуть в оборот в ближайшее время.

В 2025 г. велась активная работа по инвентаризации и оцифровке границ земельных участков для их возвращения в хозяйственный оборот. Однако этот процесс осложняется трудностями выявления неиспользуемых сельскохозяйственных угодий. Следует отметить, что в законодательстве Российской Федерации (О признаках неиспользования земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения по целевому назначению или использования с нарушением законодательства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 18.09.2020 № 1482. – URL: <https://docs.cntd.ru/-document/565820325>. – Дата обращения 09.10.2025. – Текст электронный) принят ряд признаков неиспользования земель, к которым относятся следующие: наличие на 50 и более процентах площади земельного участка зарастания сорными растениями, загрязнение земельного участка химическими веществами, захламливание земельного участка иными предметами и т. д. Выявление признаков деградации земель сельскохозяйственных угодий осуществляется службой мониторинга Министерства сельского хозяйства в результате наземного обследования земель и спутникового мониторинга [1, 2].

В Республике Казахстан, учитывая огромные масштабы территории, разнообразие климатических и социально-экологических условий [3–6], полноценный мониторинг состояния и использования земель сельскохозяйственного назначения возможен только с использованием методов дистанционного зондирования Земли и современных ГИС-технологий [7]. Правительством проработана возможность использования космических снимков в качестве основания для выявления неиспользуемых земель. Право выполнения данного вида работы прописано в Земельном кодексе РК (Земельный кодекс Республики Казахстан: от 20.06.2003 № 442. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K030000442>, Статья 162 с изменениями, внесенными законами РК от 17.11.2015 № 408-V; от 28.10.2019 № 268-VI. – Текст: электронный).

Выявление неиспользуемых сельскохозяйственных земель является важным этапом рационального землепользования и совершенствования кадастровой оценки. В мировой практике применяются три основных подхода:

- картографо-геоинформационный метод, в котором используется анализ космических снимков и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с расчетом вегетационных индексов, таких как NDVI, EVI и SAVI. Он определяет участки с пониженным количеством растительности или ее отсутствием в течение вегетационного периода, что свидетельствует о неиспользовании земель (применение спутников Landsat, Sentinel-2, MODIS в сочетании с ГИС-инструментами (ArcGIS, QGIS, ERDAS Imagine));

- кадастрово-правовой анализ, который позволяет сопоставить данные государственного земельного кадастра и реального состояния земель. В результате анализа выявляются участки, которые числятся за пользователями, но по факту не осваиваются или используются не по целевому назначению;

- агроэкологический и экономический мониторинг, который используется для оценки состояния почвенного покрова, плодородия, уровня эрозии и рентабельности сельхозпроизводства.

В странах ЕС проблема неиспользуемых земель решается комплексно. Создана система CAP (Common Agricultural Policy), предусматривающая мониторинг состояния земель через программы Copernicus и INSPIRE, которые объединяют данные дистанционного зондирования и кадастровые сведения. На основе полученных данных осуществляется стимулирование эффективных землепользователей через субсидии и агроэкологические программы; за неиспользование пашни более 3 лет предусмотрены штрафные санкции [8]. В Китае внедрены технологии использования беспилотных летательных аппаратов и анализа временных рядов NDVI, что позволило вернуть в оборот миллионы гектаров заброшенных земель [9]. В США ведется постоянный спутниковый контроль (через систему USGS Landsat и

NASA MODIS) для выявления нарушений и обновления земельных кадастров [10]. В Канаде используется сочетание экономических и технологических методов: ГИС-мониторинг и модели машинного обучения для автоматизированного выявления земель с низкой сельхозактивностью; на уровне провинций применяются программы земельных аудитов, в ходе которых неиспользуемые участки предлагаются для аренды новым фермерам [11].

Наиболее распространенным методом оценки состояния земель является сравнительный анализ значений вегетационного индекса NDVI, характеризующего интенсивность роста биомассы на сельскохозяйственных полях. В большинстве случаев в разных регионах мира этот индекс используется для оценки потенциальной урожайности культур. В работах зарубежных ученых часто рассматриваются вопросы совершенствования методов моделирования растительного покрова. Так, в статье американских ученых приводится пример использования данных MODIS/NDVI для построения модели урожайности кукурузы для США в национальном масштабе [12].

Однако многообразие природных и антропогенных факторов, влияющих на интенсивность растительного покрова, обуславливает необходимость верификации корректности использования данного признака для оценки качества земель. Так, например, сильно засоренные посевы дадут высокие значения индекса NDVI, в то время как реальная пригодность земель для использования под тот или иной вид сельскохозяйственной культуры может быть весьма низкой. Кроме того, исследователи отмечают значение межсезонных колебаний индексов вегетации, связанных с погодными условиями [13]. В исследовании [14] используется масштабируемая модель «cluster-then-label», обученная на многолетних данных MODIS NDVI с использованием данных наземных наблюдений.

Проблема картографирования заброшенных сельскохозяйственных угодий актуальна не только для России и Казахстана. Исследование Zhu X., Xiao G., Zhang D., Guo L. [15] сосредоточено на анализе временных ря-

дов данных нормализованного индекса вегетации с пространственным разрешением 250 м, полученных с помощью спектрорадиометра для визуализации среднего разрешения (MODIS). Этот подход использует сезонные и межгодовые колебания NDVI для разграничения активно возделываемых земель и заброшенных территорий.

Актуальность данного исследования обусловлена особенностями применения индекса NDVI в условиях неявно выраженной связи показателей обилия зеленой биомассы на поверхности земли с фактом вовлеченности сельскохозяйственных угодий в производственный оборот.

Целью исследования являлось обоснование системы мониторинга состояния и использования сельскохозяйственных угодий в Республике Казахстан на основе анализа показателей NDVI, полученных при обработке серии разновременных космических снимков, в сочетании с методами анализа статистической и кадастрово-правовой документации.

Методы и материалы

В качестве объекта исследований была выбрана территория Айыртауского района Северо-Казахстанской области. При выборе базовых признаков состояния земельных участков учитывались природные свойства региона (рельеф, почвообразующие породы, естественная растительность на пастбищах и сенокосах) и специфика сельскохозяйственного производства (севообороты, агротехнические приемы обработки земли и др.).

В исследовании использовались разновременные космические снимки со спутников съемочной системы Sentinel-2, предоставленные в рамках программы Copernicus (European Space Agency) в открытом доступе. Расчет NDVI выполнен по каналам B4 (RED) и B8 (NIR). Пространственное разрешение снимков составило 10 м. Обработка осуществлялась с использованием инструментов QGIS и ArcGIS.

При использовании космических снимков необходимо рассчитать погрешность при переводе растровой карты в площадь.

Расчет площади пикселя (S_p) определяется по формуле

$$S_p = s^2, \quad (1)$$

где s – размер пикселя (м).

Согласно данной формуле были рассчитаны относительные погрешности перевода растрового изображения в площади по космическим снимкам Sentinel и Modis для площади 1, 10, 100 га, расчеты сведены в табл. 2.

Таблица 2. Величина относительных погрешностей космических снимков Sentinel и Modis

Площадь, га	Sentinel относительная погрешность, %	Modis относительная погрешность, %
1	20	500
10	6,3	158
100	2	50

Так как разрешение MODIS 250 м дает большие погрешности, его результаты для юридической оценки площадей нельзя использовать.

Индекс вегетации растительности вычисляется как отношение разницы между отражением в ближнем инфракрасном (NIR) и красном (RED) диапазонах спектра к их сумме:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED), \quad (2)$$

где NIR – ближний инфракрасный канал;

RED – красный канал.

Диапазон варьирования NDVI находится в пределах от -1 до $+1$. Диапазон значений, характеризующих состояние растительного покрова, варьируется в разных источниках в зависимости от цели исследований. Покров зеленой растительности обычно характеризуется значениями индекса от $0,2$ до $0,8$ [16, 17], при оценке состояния растений принимаются более дробные значения индекса. Например, NDVI $0-0,33$ характеризует слабое развитие растений или их заболевание, $0,33-0,66$ – умеренное развитие растений, диапазон $0,66-1$ отражает состояние здоровых хорошо развитых растений [18]. Динамика восстановления растительного покрова на рекультивируемых территориях с течением времени ха-

рактеризуется изменением NDVI от $0,1$ до $0,9$ [19], т. е. чем лучше развита растительность, тем выше значение NDVI.

В данной работе был применен метод анализа временных рядов NDVI по сезонам, который позволяет отличить поля с сезонной кривой вегетации от заброшенных земель, характеризующихся постоянной низкой величиной NDVI. При подборе снимков учитывалась дата съемки в течение вегетационного периода (май – сентябрь).

Кроме того, использовались методы анализа, основанного на сопоставлении данных статистической отчетности и кадастрово-правовой документации [1, 20] государственного земельного кадастра и реального состояния земель. В результате анализа выявляются участки, которые числятся за пользователями, но по факту не осваиваются или используются не по целевому назначению.

Результаты

Общепринятая динамика изменения индекса NDVI биологической массы растений в посевах различных культур и при разных способах использования земли в течение вегетационного периода наглядно отражена на рис. 1.



Рис. 1. Динамика индекса вегетации в течение вегетационного периода

Поля с посевами озимых и яровых культурных растений имеют максимальные значения NDVI в начале и середине лета, что соответствует фенологическим фазам максимального набора биомассы этими растениями: для озимых культур это фаза колошения – цветения, приходящаяся в Северном Казахстане на июнь, для яровых зерновых – на конец июня –

начало июля. Для используемых культурных сенокосов свойственен периодический характер максимума биомассы, обусловленный двукратным за вегетационный период укосом трав.

Полученные данные служат основой для составления цифровой карты использования пашни на территории административного района (рис. 2) и расчета площади неиспользуемых пахотнопригодных земель.

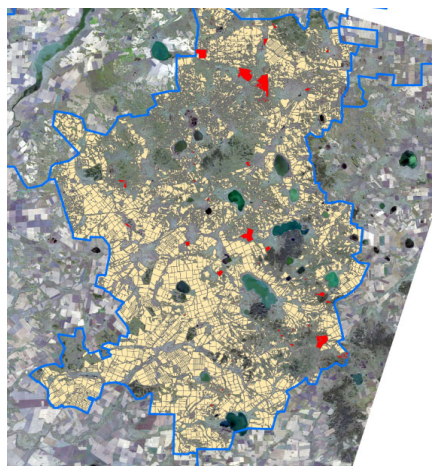


Рис. 2. Карта неиспользуемых пахотных угодий Айыртауского района Северо-Казахстанской области РК (неиспользуемые земли выделены красным цветом)

На основании анализа индекса вегетации NDVI были получены данные по всем районам Северо-Казахстанской области, которые сведены в табл. 3.

Таблица 3. Площадь неиспользуемой пашни в разрезе административных районов Северо-Казахстанской области за 2024 г.

Номер	Район	Неиспользуемая площадь пашни по данным индекса вегетации по состоянию на июнь 2024 г. (в гектарах)
1	Айыртауский	5 756
2	Есильский	411
3	Кызылжарский	298
4	Мамлютский	378
5	Им. Г. Мусрепова	1 185
6	Шал Акына	148
7	Тайыншинский	26 511
8	Уалихановский	39 174
9	Жамбылский	286
Итого:		74 147

Из таблицы видно, что в двух административных районах не используется значительная площадь пашни (Тайыншинский район – 26 511 га и Уалихановский район – 39 174 га). Данные показатели требуют дальнейшего исследования и выявления причин неиспользования пашни в этих районах.

Более сложную задачу представляет выявление неиспользуемых пастбищных угодий.

В годы с благоприятными погодными условиями они характеризуются высоким растительным покровом и, соответственно, повышенными значениями индекса вегетации. С другой стороны, чрезмерное использование пастбищ, характерное для территорий, приближенных к границам населенных пунктов, ведет к деградации растительного и почвенного покрова, которая проявляется в пони-

женном уровне вегетативной массы и отражается соответственно низкими значениями индекса вегетации.

В этом случае эффективность использования пастбищных угодий определялась расчетным методом: данными о количестве сельскохозяйственных животных, зарегистрированных в определенном районе, и нормативом необходимой площади на единицу скота, равном 1,25 га/голову [15].

Для выявления общей площади неиспользуемых пастбищных угодий были использо-

ваны данные статистических отчетов за 2024 г. по наличию пастбищных угодий и поголовью сельскохозяйственных животных по каждому административному району Северо-Казахстанской области. Исходя из существующего поголовья скота, была определена востребованная площадь пастбищ. Разность между имеющимися статистическими данными о площади пастбищ в районах и рассчитанной востребованной площадью дает площадь неиспользуемых пастбищ (табл. 4).

Таблица 4. Расчет площади неиспользуемых пастбищных угодий в разрезе административных районов Северо-Казахстанской области за 2024 г.

№	Район	Площадь пастбищ в районе по статистическим отчетам, га	Количество КРС в районе по статистическим отчетам, голов	Востребованная площадь пастбищ, га	Неиспользуемая площадь пастбищ, га
1	Айыртауский	278 941	42 186	52 732	226 208
2	Акжарский	371 786	Нет данных	-	-
3	Аккайынский	145 379	Нет данных	-	-
4	Есильский	115 785	16 194	20 243	95 543
5	Жамбылский	266 663	Нет данных	-	-
6	Кызылжарский	195 510	40 273	50 341	145 169
7	Мамлютский	123 245	19 647	24 559	98 686
8	Г. Мусрепова	249 090	1 800	2 250	246 840
9	М. Жумабаева	162 216	Нет данных	-	-
1	Шал Акына	138 887	19 419	24 274	114 613
11	Тайыншинский	341 399	55 465	69 331	272 068
12	Тимирязевский	108 136	11 903	14 879	93 257
13	Уалихановский	731 306	26 241	32 801	698 505
	ВСЕГО				1 990 889

Примечание. Данные по пастбищам и поголовью КРС получены из утвержденных планов районов по управлению пастбищами (adilet.zan.kz, zakon.uchet.kz) и региональных отчетов.

На местности выявление местоположения неиспользуемых пастбищ осуществляется на основе учета следующих критериев: низкие значения NDVI ($<0,2$), отсутствие антропогенных следов (троп, водопоев, ограждений), отсутствие поголовья скота или низкая нагрузка (при нагрузке менее 20 % участок считается неиспользуемым), отсутствие сельскохозяйственной деятельности, которое является при сопоставлении картографических цифровых материалов из государственного земельного кадастра и плана землепользования. При сопоставлении результатов анализа индекса вегетации NDVI со статистиче-

скими данными по поголовью сельскохозяйственных животных было выявлено, что у некоторых землепользователей на балансе имеются пастбищные угодья, но нет поголовья сельскохозяйственных животных, что является основанием считать площадь пастбища неиспользуемой.

Таким образом, привлечение отчетных статистических и земельно-кадастровых данных позволяет более точно выявить неиспользуемые пастбищные угодья. Полученные данные служат базовой основой:

- для наполнения базы данных Единого государственного кадастра недвижимости (ЕГКН) актуальными и достоверными сведениями о землях сельскохозяйственного назначения, включая информацию о пространственном расположении, площади, ка-

чественном состоянии и фактическом использовании угодий;

- выявления сельскохозяйственных угодий, нуждающихся в проведении работ по их коренному и поверхностному улучшению;
- выявления деградированных и неиспользуемых земель;
- проведения землеустройства и контроля за использованием земель;
- составления земельного баланса в соответствии с фактическим использованием земель.

Заключение

Мониторинг состояния и использования земель сельскохозяйственного назначения в Республике Казахстан в настоящее время предусматривает использование методов дистанционного зондирования Земли в сочета-

нии с методами анализа статистической и кадастрово-правовой документации.

Опосредованная оценка земель через состояние растительного покрова с помощью нормализованного относительного индекса вегетации NDVI позволяет эффективно выявлять неиспользуемые пахотные угодья. На примере Айыртауского района установлено, что данные дистанционного зондирования могут служить основой для уточнения кадастровой оценки пахотных земель и оптимизации их использования.

Мониторинг использования пастбищных угодий более эффективен на основе сочетания анализа индекса вегетации NDVI с анализом статистических данных по поголовью скота и данных государственного земельного кадастра РК о зарегистрированной площади земельных участков, в частности, пастбищных угодий..

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Малыгина О. И., Попп Е. С. Цифровизация сельского хозяйства для выявления неиспользуемых земель. Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2021 : Материалы 8-й Международной научно-практической конференции, р. п. Краснообск, 21–22 октября 2021 г. Под ред. В. В. Альта. Новосибирск, Краснообск : Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 2021. С. 84–86. DOI 10.26898/agroinfo-2021-84-86. EDN OVYWCR.
2. Добротворская Н. И., Давыдова Л. А. Неиспользуемые земли сельскохозяйственных угодий: проблемы оценки, состояние и перспективы. Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития : сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции, Омск, 28–29 марта 2024 года. Омск : Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2024. С. 300–306. EDN EADK GK.
3. Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2023 год. Единая платформа интернет-ресурсов государственных органов. URL:<https://www.gov.kz/memleket/entities/land/documents/details/667055?lang=ru>.
4. Смагулова Ж. Б., Кыдыр А. Инновационные технологии в сельском хозяйстве Казахстана: состояние и перспективы. Ресурсосбережение. Эффективность. Развитие : материалы V Республиканской научно-практической конференции, Донецк, 30 октября 2020 г. Отв. ред. А. В. Ярошенко. Донецк : Донецкий национальный технический университет, 2020. С. 386–393. EDN QKNBTG.
5. Чередниченко А. В. Климат Казахстана как отклик на глобальные изменения. Гидрометеорология и экология. 2009. № 4. С. 7–22.
6. Сапаров А. С., Козыбаева Ф. Е. Почвенный покров Казахстана, его экология и приоритетные направления исследований. Почвоведение и агрохимия. 2012. №4. С. 56–63.
7. Султангазин У. М., Аубакиров Т. О., Айтхожина Н. А. [и др.]. Космические исследования в Казахстане = Қазақстандағы ғарыштық зерттеулер Қазақстандағы ғарыштық зерттеулер. Под ред. У. М. Султангазина. М-во образования и науки Республики Казахстан, Нац. акад. наук Респ. Казахстан. Ин-т косм. исслед. Алматы : Rond, 2002. 488.

8. Европейская комиссия. Common Agricultural Policy 2023-2027: Key changes. Brussel. URL: <https://www.robert-schuman.eu/en/european-issues/0607-the-common-agricultural-policy-2023-2027-change-and-continuity>. Дата обращения 08.11.2025.
9. Liu J., Zhang, Z., & Xu, X. Spatial patterns of farmland abandonment in China. Land Use Policy, 2022.
10. USGS. Landsat Science Data Users Handbook. U.S. Geological Survey, 2021. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-data-user-handbooks>.
11. T. Huffman. Canadian agricultural land-use and land management data requirements for assessing, monitoring and reporting on the impact of agricultural production practices on the environment. Canadian Journal of Soil Science, 2006. URL: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.4141/S05-103>.
12. Johnson D. M., Rosales A., Mueller R., Reynolds C., Frantz R., Anyamba A., Pak E., Tucker C. USA Crop Yield Estimation with MODIS NDVI: Are Remotely Sensed Models Better than Simple Trend analyses. Remote Sens. 2021, 13, 4227. DOI: 10.3390/rs13214227. Дата обращения 12.10.2025.
13. Kogan F., Gitelson A., Zakarin E., Spivak L., Lebed L. AVHRR-Based Spectral Vegetation Index for Quantitative Assessment of Vegetation State and Productivity: Calibration and Validation. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2003. Vol. 69, № 8. August. P. 899-906. URL: <https://digitalcommons.unl.edu/natrespapers/278>—Дата обращения 12.10.25.
14. Konduri V. Sh., Kumar J., Hargrove W. W., Hoffman F. M., Ganguly A. R. et al. Mapping crops within the growing season across the United States. Remote Sensing of Environment Volume 251, 15 December 2020, 112048. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425720304181?via%3Dihub>. Дата обращения 12.10.25.
15. Zhu X., Xiao G., Zhang D., Guo L. Mapping abandoned farmland in China using time series MODIS NDVI// Science of The Total Environment. Volume 755, Part 2, 10 February 2021, 142651. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720361805>. Дата обращения: 12.10.2025.
16. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. Геоматика. 2009. № 3. С. 28–32.
17. Черепанов А. С. Вегетационные индексы. Геоматика. 2011. № 2. С. 98–102.
18. Косолапов В. А., Хлебникова Е. П. Мониторинг территорий с использованием спектральных индексов. Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сб. материалов Национальной науч.-практ. конф. 2020. Т. 2. С. 128–134.
19. 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.
20. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Отраслевая статистика. Статистика сельского, лесного, охотничьего и рыбного хозяйства. Бюро национальной статистики. URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/>.

REFERENCES

- 1 Malygina, O. I., Popp E. S. (2021). Digitalization of Agriculture to Identify Unused Lands. Information Technologies, Systems, and Devices in the Agro-Industrial Complex. *AGROINFO-2021: Materialy 8-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, [AGROINFO-2021: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference]*, Krasnoobsk, October 21–22, 2021 / edited by V. V. Alta. Novosibirsk, Krasnoobsk: Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, pp. 84–86. DOI 10.26898/agroinfo-2021-84-86. EDN OVYWCR.

- 2 Dobrotvorskaya, N. I., Davydova L. A. (2024). Unused Agricultural Lands: Assessment Problems, Status, and Prospects. *Geodeziya, zemleustroystvo i kadastry: problemy i perspektivy razvitiya: Sbornik nauchnykh trudov po materialam VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Geodesy, land management, and cadastres: problems and development prospects: Collection of scientific papers based on the materials of the VI International scientific-practical conference]*, Omsk, March 28–29, 2024. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, pp. 300–306. EDN EADKGK.
- 3 Consolidated analytical report on the status and use of lands in the Republic of Kazakhstan for 2023. Unified platform of internet resources of government agencies. Retrieved from <https://www.gov.kz/memleket/entities/land/documents/details/667055?lang=ru>.
- 4 Smagulova, Zh. B., Kydyr A. (2020). Innovative technologies in agriculture of Kazakhstan: status and prospects. Resource conservation. *Resursosberezeniye. Effektivnost'. Razvitiye : materialy V Respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Efficiency. Development: Proceedings of the V Republican Scientific and Practical Conference]*, Donetsk, October 30, 2020 / Editor-in-Chief A.V. Yaroshenko. Donetsk: Donetsk National Technical University. Pp. 386-393. EDN QKNBTG.
- 5 Cherednichenko A. V. (2009). Kazakhstan's Climate as a Response to Global Change. *Gidrometeorologiya i ekologiya. [Hydrometeorology and Ecology]*. No. 4. Pp. 7-22.
- 6 Saparov A.S., Kozybaeva F.E. Soil Cover of Kazakhstan, Its Ecology, and Priority Research Areas. *Pochvovedeniye i agrokhimiya. [Soil Science and Agrochemistry]*. 2012. No. 4. Pp. 56-63.
- 7 Sultangazin U. M., Aubakirov T. O., Aitkhozhina N. A. [et al.]. (2002). *Kosmicheskkiye issledovaniya v Kazakhstane = Kazakstandagy garyshtyk zertteuler Kazakstandagy garyshtyk zertteuler [Space research in Kazakhstan = Kazakstandagy garyshtyk zertteuler Kazakstandagy garyshtyk zertteuler]* / Ed. U. M. Sultangazina. Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, National. acad. Sciences Rep. Kazakhstan. Institute of Space research Almaty: Rond. 488 p.
- 8 European Commission. Common Agricultural Policy 2023.y (CAP) 2023-2027: Key changed. Brussels. Retrieved from <https://www.robert-schuman.eu/en/european-issues/0607-the-common-agricultural-policy-2023-2027-change-and-continuity>. Date of access: 08.11.2025
- 9 Liu, J., Zhang, Z., & Xu, X. (2022). Spatial patterns of farmland abandonment in China. *Land Use Policy*,
- 10 USGS. Landsat Science Data Users Handbook.U.S.Geological Surver, (2021). Retrieved from <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-data-user-handbooks>.
- 11 T. Huffman. (2006). Canadian agricultural land-use and land management data requirements for assessing, monitoring and reporting on the impact of agricultural production practices on the environment. *Canadian Journal of Soil Science*, Retrieved from <https://cdnsiencepub.com/doi/10.4141/S05-103>
- 12 Johnson, D. M., Rosales, A., Mueller, R., Reynolds, C., Frantz, R., Anyamba, A., Pak, E., Tucker, C. (2021). USA Crop Yield Estimation with MODIS NDVI: Are Remotely Sensed Models Better than Simple Trend Analyzes. *Remote Sens.* 13, 4227. DOI: 10.3390/rs13214227 Date of access: 10/12/25.
- 13 Kogan F., Gitelson A., Zakarin E., Spivak L., Lebed L. (2003). AVHRR-Based Spectral Vegetation Index for Quantitative Assessment of Vegetation State and Productivity: Calibration and Validation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 69, No. 8. August. P. 899-906. Retrieved from <https://digitalcommons.unl.edu/natrespapers/278>. Date of access: 10/12/25.
- 14 Konduri V. Sh. Kumar J., Hargrove W. W., Hoffman F. M., Ganguly A. R. et al. (2020). Mapping crops within the growing season across the United States. *Remote Sensing of Environment* Volume 251, 15 December 112048. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425720304181?via%3Dihub>. Date of access: 10/12/25.
- 15 Zhu X., Xiao G., Zhang D., Guo L. (2021). Mapping abandoned farmland in China using time series MODIS NDVI // *Science of The Total Environment*. Volume 755, Part 2, 10 February 2021, 142651. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720361805>. Accessed: 12 October 2025.
- 16 Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. (2009). Spectral properties of vegetation and vegetation indices. *Geomatika [Geomatics]*. No. 3. Pp. 28–32.

17 Cherepanov A. S. (2011). Vegetation indices. *Geomatika [Geomatics]*. No. 2. Pp. 98–102.

18 Kosolapov V. A., Khlebnikova E. P. (2020). Monitoring territories using spectral indices. *Regulirovaniye zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy v Rossii: pravovoye i geoprostranstvennoye obespecheniye, otsenka nedvizhimosti, ekologiya, tekhnologicheskiye resheniya: Sb. mat-ov Natsional'noy nauch.-prakt. konf. [Regulation of Land and Property Relations in Russia: Legal and Geospatial Support, Real Estate Valuation, Ecology, and Technological Solutions: Collection of Proceedings of the National Scientific and Practical Conf.]* Vol. 2. Pp. 128–134.

19 Verkhoturov, A. A., Melkiy, V. A., Dolgoplov, D. V., Lisitsky, D. V. (2022). Monitoring Changes in Vegetation Cover on the Sakhalin-2 Pipeline Route Based on Satellite Imagery. *Vestnik SGUGiT. [Vestnik SSUGT]* Vol. 27, No. 4. Pp. 45–53.

20 Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan//Sectoral statistics. Statistics of agriculture, forestry, hunting and fisheries - Text: electronic *Bureau of National Statistics* [website]. Retrieved from <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/>.

Об авторах

Толкын Тулегеновна Жагипарова – магистр наук оценки (Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина); аспирант кафедры кадастра и территориального планирования (СГУГиТ).

Олеся Сергеевна Музыка – магистр наук оценки (Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина); аспирант кафедры кадастра и территориального планирования (СГУГиТ).

Надежда Ивановна Добротворская – доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, профессор.

Олеся Игоревна Малыгина – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой кадастра и территориального планирования.

Author details

Tolkyn T. Zhagiparova – M. Sc., Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; PhD Student at the Department of Cadastre and Territorial Planning, SSUGT.

Olesya S. Musica – M. Sc., Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; PhD Student at the Department of Cadastre and Territorial Planning, SSUGT.

Nadezhda I. Dobrotvorskaya – D. Sc., Senior Researcher, Professor.

Olesya I. Malygina – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Cadastre and Territorial Planning.

Получено / Received 13.05.2025

Поступила после рецензирования / Revised 10.12.2025

Принята к публикации / Accepted 02.03.2026

Научно-поисковая статья/Research article

УДК 504.5:622.8

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-176-183>

Рекультивация нарушенных земель при отработке месторождений полезных ископаемых: вызовы и решения, мировой опыт

Э. Нгендаменья¹, А. П. Сизов^{1,4}

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

e-mail: evarstengendamenya@gmail.com

Аннотация. Целью исследования является анализ деятельности горнодобывающих компаний и кооперативов по устранению или уменьшению негативных эффектов горнодобывающей промышленности по отношению к окружающей среде. Для восстановления нарушенных эксплуатацией земель принимаются меры предосторожности при снятии и сохранении различных слоев почвы в зависимости от их плодородия для использования в рекультивации. Возврат почв на эксплуатируемую территорию производится после завершения формирования нового рельефа, заключающегося в уменьшении уклона и засыпке существующих полостей (ям, галерей и шахтных стволов). Засыпка производится в порядке возрастания плодородия слоев. После полного формирования почвенного слоя компенсируются недостатки плодородия и дефекты структуры почвы путем добавления в нее удобрений и мелиорантов в соответствии с потребностями высаживаемой растительности. Создание растительного покрова обогащает почву питательными веществами, нейтрализует токсичные вещества и способствует борьбе с эрозией. Хороший растительный покров характеризуется диверсификацией видов растений с целью их устойчивого произрастания, защиты от болезней и надлежащей вегетации. Использование местных видов предпочтительно для обеспечения устойчивости растительного покрова; однако при фиторемедиации используются и интродуцированные зарубежные виды растений. Подготовлен авторский систематизированный комплекс терминов, определяющих способы и методы охраны окружающей среды и ее компонентов конкретными мероприятиями. Также разработана авторская технологическая схема выполнения мероприятий по охране нарушенных земель при отработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Ключевые слова: горнодобывающие компании, добыча полезных ископаемых, заброшенный горнодобывающий участок, консервация земель, открытые горные работы, охрана окружающей среды, оценка воздействия на окружающую среду, реабилитация территорий

Для цитирования:

Нгендаменья Э., Сизов А. П. Рекультивация нарушенных земель при отработке месторождений полезных ископаемых: вызовы и решения, мировой опыт. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 176–183. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-176-183>

Land reclamation in mineral resource extraction: challenges, solutions, and international practices

E. Ngendamanya¹, A. P. Sizov¹

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

e-mail: evarstengendamenya@gmail.com

Abstract. The objective of the study is to analyze the activities of mining companies in mitigating or eliminating the negative environmental impacts of mining operations. Measures are implemented to restore lands disturbed by mining operations, including precautionary measures during the removal and preservation of various soil layers based on their fertility for subsequent use in reclamation. Soils are returned to the reclaimed area after the formation of a new relief, which involves reducing slopes and backfilling existing cavities (pits, galleries, and mine shafts). Backfilling is carried out in order of increasing soil layer fertility. After complete formation of the soil layer, fertility deficiencies and soil structure defects are compensated by adding fertilizers and ameliorants to the soil according to the needs of the planted vegetation. The establishment of vegetation cover enriches the soil with nutrients, neutralizes toxic substances, and helps combat erosion. A high-quality vegetation cover is characterized by species diversification to ensure sustainable growth, disease resistance, and proper vegetation development. The use of native species is preferred to ensure vegetation cover stability; however, introduced foreign plant species are also used in phytoremediation. An author-developed systematic set of terms defining ways and methods of environmental protection and its components through specific measures was prepared. Additionally, an author-developed technological scheme for implementing measures to protect disturbed lands during open-pit mining of mineral deposits was developed.

Keywords: mining companies, mineral extraction, abandoned mining site, land conservation, open-pit mining, environmental protection, environmental impact assessment, land rehabilitation

For citation:

Ngendamanya E., Sizov A. P. (2026). Land reclamation in mineral resource extraction: challenges, solutions, and international practices. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 176–183. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-176-183>

Введение

Деятельность по добыче полезных ископаемых с осуществлением открытых горных работ имеет важное значение для развития любой страны, принося доход как отдельным компаниям, так и государству в целом. Однако такая деятельность нередко приводит к значительному ухудшению состояния окружающей среды. Компании и другие заинтересованные стороны в горнодобывающей промышленности должны восстанавливать поврежденные ландшафты, минимизируя или полностью устраняя последствия, вызванные эксплуатацией. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), выполненная горнодобывающей компанией или любым другим участником горнодобывающих работ и одобренная должностными лицами по охране окружающей среды, должна определять все виды горнодобывающей деятельности, включая рекультивацию земель [1]. Рекультивационные мероприятия должны соответствовать целям землепользования, согласованным горнодобывающими компаниями и землевла-

дельцами. Для успешной рекультивации горнодобывающих участков контроль и мониторинг мероприятий должны осуществляться руководителями шахт, ответственными за горнодобывающую промышленность и охрану окружающей среды, совместно с территориальными администрациями в рамках действующего законодательства. В случае ненадлежащего осуществления рекультивации, а также при наличии бесхозных участков рекультивация нарушенных земель проводится под эгидой правительства через сеть созданных учреждений [2]. Поддержка территориальной администрации, гражданского общества, населения и международных учреждений, занимающихся добычей полезных ископаемых, имеет большое значение для успеха в мониторинге и контроле окружающей среды [3, 4].

Основной целью исследования является анализ мирового опыта реабилитации территорий под объектами горной добычи и карьерами.

Для достижения этой цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Изучить научные и методические публикации и документы, касающиеся рекульти-

вазии земель, нарушенных в ходе горных работ.

2. Представить систематизированный обзор современной информации в сфере реабилитации территорий, на которых осуществлялась добыча полезных ископаемых открытым способом.

3. Подготовить рекомендации по охране окружающей среды для заинтересованных сторон в сфере горнодобывающей деятельности.

Материалы и методы

При анализе проблемы реализован информационно-логический метод обзора и анализа положений, содержащихся в опубликованных научных статьях и иных документах в сфере реабилитации горнодобывающих объектов и карьеров после завершения добычи полезных ископаемых.

Результаты

В результате изучения опубликованных материалов в сфере рекультивации земель, нарушенных в ходе горных работ, установлены особенности рекультивационных работ. Учитывая вредные последствия добычи полезных ископаемых с осуществлением открытых горных работ, горнодобывающие компании и кооперативы обязаны осуществить восстановление нарушенных земель путем рекультивации, включающей технический и биологический этапы. Технический этап рекультивации состоит в воссоздании ландшафта в соответствии с выбранным использованием земель в национальном хозяйстве. Он включает выравнивание рельефа, отсыпку отвалов, удаление, транспортировку и засыпку на рекультивируемые земли плодородных грунтов и горных пород. Сюда также входит строительство дорог, каналов, плотин и т. д. Биологический этап рекультивации предполагает агротехнические мероприятия по оптимизации водно-воздушного и питательного режимов рекультивируемого слоя, посев необходимых сельскохозяйственных растений и посадку лесных культур. По итогам биологического этапа создаются сельскохозяйственные угодья, рекреационные зоны, леса, пруды и дру-

гие водоемы, а также покрытие земной поверхности растительностью, предотвращающее негативное воздействие на окружающую природную среду [5].

На техническом этапе рекультивации формируется новый рельеф путем засыпки полостей (ям, галерей и колодцев) почвой и уменьшением крутизны уклона [6]. Засыпка колодцев выполняется при наличии засыпных материалов; в противном случае колодец закрывается бетонными плитами или заглушками. Выбор устанавливаемой конструкции зависит от размеров полости, гранулометрического состава и водно-физических свойств почвы или почвогрунта [7]. При засыпке почвы человек изменяет соотношение ее твердой, жидкой и газообразной фаз, обеспечивая постоянную трансформацию посредством химических реакций и физико-механических изменений (эрозии и вымывания) [8]. Если условия рекультивации позволяют, снятый верхний слой почвы непосредственно укладывается на рекультивируемую поверхность (так называемый метод прямого возврата, т. е. максимум в течение 7 дней). Такие действия, однако, не всегда возможны; во многих случаях используется почва, сохраняемая во временных накопителях. Прямой же возврат свежего верхнего слоя почвы помогает обогатить почву органическими веществами и живыми биологически активными микроорганизмами [9].

Поскольку регулярная подсыпка почвы приводит к изменению ее структуры и текстуры и росту плотности, после завершения подсыпки на рекультивируемых землях необходимо провести коррекцию структуры и плодородия почвы. Для устранения структурных дефектов вносят известь и органические вещества, а для повышения плодородия – удобрения [10].

Успешное сохранение плодородного почвенного слоя обеспечивает жизнеспособность семян. Определяющим фактором этого является время. Эксперименты подтвердили, что семена более жизнеспособны лишь в течение одного года сохранения; через два года наблюдается значительное снижение жизнеспособности семян. Климат также играет важную роль в долговечности семян: в засуш-

ливых регионах семена живут гораздо дольше, чем во влажных; засушливые условия окружающей среды замедляют прорастание семян в верхнем слое почвы, поэтому скорость потери семян из-за старения низка. Таким образом, для успешного восстановления растительности важно защитить верхний слой почвы водонепроницаемым покрытием [11].

После нормализации состояния почвы процесс рекультивации включает посадку растений различных видов; видовое разнообразие способствует борьбе с вредителями, поражающими данный вид растений, диверсификации агропроизводства и т. д.). После

укоренения и удачной вегетации растения выполняют многочисленные функции: образуют напочвенный покров, регулируют водный поток и т. д. Рекомендуются местные виды растений, адаптированные к окружающей среде, однако при фиторемедиации используются и интродуцированные виды, завезенные из-за рубежа [12].

Как результат обобщения научной терминологии в опубликованной литературе и нормативных документах, авторами подготовлен систематизированный комплекс терминов, определяющих способы и методы охраны окружающей среды и ее компонентов конкретными мероприятиями (таблица).

Комплекс терминов для мероприятий по охране окружающей среды

Компонент окружающей среды	Негативные процессы	Совокупность мероприятий по охране
Территория (урбоземля)	—	Реабилитация
Земля	Нарушение, включая добычу полезных ископаемых	Рекультивация
	Использование в сельскохозяйственном производстве	Мелиорация (коренное улучшение земель)
	Недостаточность мер по охране для восстановления исходных свойств	Консервация (юридическое оформление факта невозможности использования земель на определенный срок с изъятием их из оборота в законодательно установленном порядке)
Почва	Порча и уничтожение плодородного слоя почвы	Восстановление
	Деграция механическая (эрозия и т. п.)	Землевание; реплантация
	Захламление; заражение патогенными микроорганизмами	Санация
	Загрязнение радиоактивное	Дезактивация
	Загрязнение химическое	Детоксикация; хемо-, био-, фиторемедиация
	Засоление	Рассоление
	Уничтожение почвенной биоты	Оздоровление; ревитализация

Обсуждение

Подготовленный систематизированный обзор современной информации в сфере реабилитации территорий, на которых осуществлялась добыча полезных ископаемых открытым способом, включает описание вредных последствий добычи полезных ископаемых. Добыча полезных ископаемых с осуществлением открытых горных работ приносит доход стране и направ-

лена на ее развитие. Побочным продуктом развития, индуцированного добычей полезных ископаемых, становятся негативные воздействия на окружающую среду.

Конкретные негативные воздействия, вызванные горнодобывающей деятельностью, проиллюстрированы примерами (фотографиями, отражающими важность рекультивации земель различных горнодобывающих участков).

В Новой Каледонии добыча полезных ископаемых началась в 1873 г. Рекультивация нарушенных земель началась лишь в 1970 г., а 97 лет эти земли находились в нарушенном состоянии по причине отсутствия их правообладателей, будучи по сути бесхозными объектами [13]. В составе 14 заброшенных горнодобывающих участков, выявленных в 2009 г., ~1718 га остались нерекультивированными. Рекультивация этих заброшенных объектов становится задачей правительственных учреждений или компаний, которые получают контракты на эксплуатацию в районах их расположения [2].

Воздействие горнодобывающей промышленности требует адекватных мер для минимизации его пагубных негативных последствий. В ряде регионов (Новая Каледония, Южная Африка, Индонезия, Испания, Франция, Австралия и др.) добыча полезных ископаемых привела к нарушению больших площадей земель (особенно в долинах и ниже по течению от объекта горной добычи) и загрязнению больших площадей земель, поверхностных и грунтовых вод токсичными веществами (рис. 1).



Рис. 1. Добыча полезных ископаемых в долине Бангка в Индонезии (1930) [14]

Шлам из отходов, переносимых сточной водой, представляет опасность для воды рек ниже по течению от ферм, вызывая гибель живых существ, включая рыб. Пример: река Мулили в Габоне, где даже крупные животные (коровы) погибли из-за заиления [15].

Качественная рекультивация направлена на восстановление исходных функций и структуры экосистемы, что обеспечивает ее полное восстановление (рис. 2 [16]).



Рис. 2. Фотография до (слева) и после трех лет восстановления растительного покрова (справа) с помощью Ингасом в Пактолесе [16]

Следующая кривая иллюстрирует эволюцию горнодобывающей деятельности на ее различных стадиях, от эксплуатации до восстановления (рис. 3 [16]).



Рис. 3. Гипотетическое развитие экосистемы, иллюстрирующее различия между реабилитацией отдельных экологических функций и полным восстановлением экосистемы [16]

Последствия горнодобывающей деятельности многочисленны и крайне опасны. Попадание отходов горнодобывающей промышленности в реки, ручьи и даже моря вследствие эрозии наблюдается во многих странах (примеры: Франция, Австралия, Испания, Новая Каледония, Южная Африка, Индонезия). Процессы переработки отходов и рекультивации горнодобывающих участков должны быть строго регламентированы. Учитывая, что окружающая среда, расположенная ниже по течению от горнодобывающих участков, подвержена разрушению и загрязнению стоками с горнодобывающих участков, необходимо принять адекватные мероприятия для снижения или ликвидации этих последствий. В силу токсичности неочищенных отходов

жизнь живых существ, включая людей, подвергается опасности. Сокращается площадь пахотных земель.

Горнодобывающие компании в сотрудничестве с административными органами обязаны восстанавливать оголенные территории, высаживая фиксирующие травы и формируя лесные массивы. Должностные лица, отвечающие за горнодобывающую деятельность, охрану окружающей среды и территориальное управление, должны обеспечить надлежащее выполнение обязательств горнодобывающими компаниями и кооперативами от начала эксплуатации до завершения работ по восстановлению. Чиновникам, отвечающим за охрану окружающей среды, необходимы служебные командировки для изучения опыта тех стран, в которых рекультивация горнодобывающих участков проведена удачно, чтобы в конечном итоге содействовать рекультивации земель в своих странах. Странам, только приступающим к добыче полезных ископаемых, следует извлечь уроки из истории горнодобывающей промышленности других стран и принять законодательство, разрешающее вести добычу полезных ископаемых исключительно с учетом требований охраны окружающей среды [14].

Как результат обсуждения мирового опыта, авторами предлагается следующий порядок процедуры охраны нарушенных земель при отработке месторождений полезных ископаемых (рис. 4).

1-я стадия: предупредительные (превентивные) мероприятия	
Содержание мероприятий	Этап добычи полезных ископаемых
Предупреждение развития негативных процессов и источников их возникновения	Проектирование добычи полезных ископаемых, оценка воздействия на окружающую среду
▼	
2-я стадия: защитные (компенсационные) мероприятия	
Содержание мероприятий	Этап добычи полезных ископаемых
Минимизация отрицательного воздействия негативных процессов, компенсирующая вред окружающей среде	Эксплуатация месторождений полезных ископаемых при их добыче
▼	
3-я стадия: восстановительные (рекультивационные) мероприятия	
Содержание мероприятий	Этап добычи полезных ископаемых
Устранение источников возникновения негативных процессов и ликвидация их последствий	Завершение добычи полезных ископаемых и последующее осуществление рекультивации нарушенных земель

Рис. 4. Технологическая схема выполнения мероприятий по охране нарушенных земель при отработке месторождений полезных ископаемых

Состав конкретных мероприятий на каждой стадии зависит от степени изменения состояния компонентов окружающей среды, в первую очередь почв и геологической среды. В качестве отдельного мероприятия, выполняемого в случае, когда цикл предыдущих мероприятий не приводит к нормализации состояния окружающей среды, авторы предлагают консервацию земель, заключающуюся в юридическом оформлении факта невозможности их использования на определенный срок с изъятием из оборота в законодательно установленном порядке. Такой порядок необходимо прописать в национальном законодательстве стран, активно разрабатывающих полезные ископаемые открытым способом.

Выводы

В заключение следует отметить, что горнодобывающая деятельность оказывает множество негативных последствий для окружающей среды. Сток отходов горнодобывающей промышленности в расположенные ниже по течению ландшафты приводит к токсичности речных вод, ручьев и в конечном итоге морей. Рекультивация должна быть необходимой для всех шахт путем выполнения задач, предусмотренных в процедуре ОВОС.

Также разработана авторская технологическая схема выполнения мероприятий по охране нарушенных земель при отработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Специалисты в области горнодобывающей промышленности и охраны окружающей среды при поддержке административных органов должны осуществлять надлежащий контроль за деятельностью компаний и кооперативов, эксплуатирующих шахты. Законодательство в этой области, которым должны руководствоваться все заинтересованные стороны при добыче полезных ископаемых, послужит гарантией безопасности горных работ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Васильченко А. В. Рекультивация нарушенных земель : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1. Оренбург : ОГУ, 2017. 230 с.
2. TRANAP H. Réhabilitation des sites miniers orphelins en province Sud. Université Rennes 1. 2009. 52 p. Rapport de stage.
3. Initiative pour la transparence dans les industries extractives (ITIE). De la mise en œuvre de l'ITIE. 2012. 153 p.
4. KARIM Z. (2022). La protection de l'environnement "en péril" dans le secteur minier Guinéen. RIES Numéro 4 Mai 2022. P. 27–33.
5. Сметанин В. И. Рекультивация и обустройство нарушенных земель. М. : Колос, 2000. 96 с.
6. Коваленко В. С., Штейнцайг Р. М., Голик Т. В. Рекультивация нарушенных земель на карьерах : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1. Основные требования к рекультивации нарушенных земель. М. : Издательство Московского государственного горного университета, 2008. 65 с.
7. Godoy S., Metz M., Saunier M. Principes de mise en sécurité de puits de mine. Rapport final BRGM/RP-57576-FR. 2009. 39 p.
8. Jean M. F. Martins. Le sol, une ressource essentielle et si fragile. 2019. fhal-02414321. Disponible sur [https://hal.science/hal-02414321/file/Le%20sol%20Echosciences\)_Martins-JMF-Final.pdf](https://hal.science/hal-02414321/file/Le%20sol%20Echosciences)_Martins-JMF-Final.pdf).
9. Gardner J. Restaurer les sites miniers pour atteindre des objectifs d'utilisation des terres : l'extraction de la bauxite dans la forêt de Jarrah en Australie-Occidentale, Australie, 2024. Disponible sur <https://www.fao.org/4/y2795f/y2795f03.htm#:~:text=La%20s%C3%A9lection%20des%20objectifs%20d%27utilisation%20des%20terres%20apr%C3%A8s,la%20biodiversit%C3%A9%20et%20des%20exigences%20en%20mati%C3%A8re%20>.
10. Есжанова Т. С., Жарников В. Б., Ильиных А. Л. Охрана земель в Республике Казахстан. Рекультивация нарушенных земель в системе устойчивого развития землепользования. Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 6. С. 120–133. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-120-133.
11. Peter J. Golos., Kingsley W. Dixon. (2014). Waterproofing Topsoil Stockpiles Minimizes Viability Decline in the Soil Seed Bank in an Arid Environment. Restoration Ecology 22, Issue 4 : 495–501.
12. Stéphanie T. Méthodes de végétalisation dans la restauration écologique de sites miniers : comparaison entre le québec et le pérou. Maîtrise : ecologie internationale et environnement : québec : université de sherbrooke : 2012. 116 p.
13. France Bailly, Hamid Amir, Frédéric Bart, Bruno Fogliani, Véronique Forlacroix, et al. Environnement et restauration des sites miniers. Géologues, 2021. fhal-03582006f. Disponible sur <https://hal.science/hal-03582006>.
14. Etat des lieux des conséquences graves de l'exploitation minière ISF SystExt Mars 2016.
15. Grâce Méлина MENGUE EDOH AFIYO. Impacts de l'exploitation minière sur l'environnement et les collectivités locales dans la province du Haut-Ogooué: cas de la Comilog à Moanda (GABON). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du mastère spécialisé en gestion durable des mines. Institut International d'ingénierie de l'eau et de l'environnement : 2011. 61 p.
16. Cabidoche M. Synthèse des techniques de réhabilitation des sites miniers primaires à ciel ouvert. Rapport final. BRGM/RP-69776-FR, 2020. 143 p.

REFERENCES

1. Vasilchenko, A. V. (2017). *Rekul'tivatsiya narushennykh zemel'* [Reclamation of Disturbed Lands]. Orenburg: OGU publ., 230 p. ISBN 978-5-7410-1816-3 [in Russian].
2. TRANAP, H. (2009). Rehabilitation of orphan mining sites in the Southern Province. *University of Rennes 1. Internship report*. 52 p.
3. Extractive Industries Transparency Initiative (EITI). On the implementation of the EITI. 2012. 153 p.
4. KARIM, Z. (2022). Environmental protection "in danger" in the Guinean mining sector. RIES Issue 4. 27–33.

5. Smetanin, V. I. (2000). *Rekul'tivatsiya i obustroystvo narushennykh zemel*. [Reclamation and development of disturbed lands]. Moscow: Kolos publ. 96 p. ISBN 5 – 10 – 003501- 3. Available on https://www.phantastike.com/agriculture/rekul'tivatsiya_i_obustroystvo_narush_zem/djvu/view/. [in Russian].
6. Kovalenko V. S., Shteyntsayg R. M., & Golik T. V. (2008). *Rekul'tivatsiya narushennykh zemel' na kar'yerakh* [Reclamation of disturbed lands in quarries]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta publ. CH. 1. Osnovnyye trebovaniya k rekul'tivatsii narushennykh zemel'. 65 p. ISBN 978-5-7418-0281-8 [in Russian].
7. Godoy, S., Metz, M., & Saunier, M. (2009). Principles of mine shaft safety. *Final report BRGM/RP-57576-FR*. P. 39.
8. Jean M. F. Martins. (2019). Soil, an essential and fragile resource. fhal-02414321. Available on [https://hal.science/hal-02414321/file/Le%20sol%20Echosciences\)_Martins-JMF-Final.pdf](https://hal.science/hal-02414321/file/Le%20sol%20Echosciences)_Martins-JMF-Final.pdf).
9. Gardner, J. (2024). Restoring mine sites to achieve land use objectives: bauxite mining in the Jarrah Forest of Western Australia. Available on <https://www.fao.org/4/y2795f/y-2795f03.htm#:~:text=La%20s%C3%A9lection%20des%20objectifs%20d%27utilisation%20des%20terres%20apr%C3%A8s,la%20biodiversit%C3%A9%20et%20des%20exigences%20en%20mati%C3%A8re%20>.
10. Eszhanova, T. S., Zharnikov, V. B., & Ilyinykh, A. L. (2024) Land protection in the Republic of Kazakhstan. Reclamation of disturbed lands in the system of sustainable land use development. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SGUGiT], 29(6), 120–133. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-120-133 [in Russian].
11. Peter J. Golos., Kingsley W. Dixon. (2014). Waterproofing Topsoil Stockpiles Minimizes Viability Decline in the Soil Seed Bank in an Arid Environment. *Restoration Ecology* 22, Issue 4: 495–501.
12. Stephanie, T. (2012). Vegetation methods in the ecological restoration of mining sites: a comparison between quebec and peru. Master's: international ecology and environment. *Quebec: university of sherbrooke*. P. 116.
13. France, B., Amir, H., Bart, F., Fogliani, B., Forlacroix, V., Et al. (2021). Environment and restoration of mining sites. *Geologists*. fhal-03582006f. Available on <https://hal.science/hal-03582006>.
14. State of play of the serious consequences of mining. (2016) ISF SystExt.
15. Grace Melina Mengue Edoh Afiyo. (2011). Impacts of mining on the environment and local communities in the province of Haut-Ogooue: case of Comilog in Moanda (Gabon). Final dissertation for the specialized master's degree in sustainable mine management. *International Institute of Water and Environmental Engineering*. 61 p.
16. Cabidoche, M. (2020). Summary of rehabilitation techniques for primary open-pit mining sites. *Final report*. BRGM/RP-69776-FR, p. 143.

Об авторах

Эварист Нгендаменья – аспирант.

Александр Павлович Сизов – доктор технических наук, профессор кафедры землеустройства и кадастров.

Author details

Evariste Ngendamanya – Ph. D. Student.

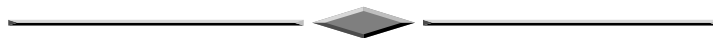
Alexander P. Sizov – D. Sc., Professor, Department of Land Management and Cadastre.

Получено / Received 06.10.2025

Поступила после рецензирования / Revised 29.04.2026

Принята к публикации / Accepted 06.05.2026

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



Обзорно-аналитическая статья/Review article

УДК 528(092)

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-184-192>

**Иван Васильевич Лесных – геодезист, ученый, ректор
(к 90-летию со дня рождения)**

А. В. Никонов^{1, 2✉}, Я. А. Лесных¹

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

² Акционерное общество «Сибтехэнерго», г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: sibte@bk.ru

Аннотация. 4 июня 2026 г. исполняется 90 лет со дня рождения Ивана Васильевича Лесных, вошедшего в историю как ректор Сибирской государственной геодезической академии и ее президент. В статье рассматриваются страницы биографии И. В. Лесных: после окончания в 1960 г. Новосибирского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии он за десять лет прошел путь от ассистента кафедры геодезии до заведующего кафедрой, в дальнейшем работал проректором по научной работе, а в 1992 г. был утвержден в должности ректора, которую занимал до 2006 г. Именно при нем вуз получил статус академии, были открыты новые направления подготовки специалистов, организовано пять институтов и другие структурные подразделения. С 2005 г. в Новосибирске проводится международная выставка и научный конгресс «ГЕО-Сибирь», инициатива проведения которой была поддержана И. В. Лесных. В статье приводятся выдержки из воспоминаний коллег о совместной работе с Иваном Васильевичем.

Ключевые слова: кафедра геодезии, НИИГАиК, СГГА, светодальномер

Для цитирования:

Никонов А. В., Лесных Я. А. Иван Васильевич Лесных – геодезист, ученый, ректор (к 90-летию со дня рождения). *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 184–192. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-184-192>

Ivan V. Lesnykh – geodesist, scientist, rector: a tribute on the 90th anniversary of his birth

A. V. Nikonov^{1, 2✉}, I. A. Lesnykh¹

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

² Sibtechenergo, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: sibte@bk.ru

Abstract. June 4, 2026 marks the 90th anniversary of Ivan V. Lesnykh, former Rector and President of the Siberian State Academy of Geodesy (SSGA). In 1960 he graduated from the Novosibirsk Institute of Engineers of Geodesy, Aerial Photography and Cartography and immediately joined its faculty. He began as an assistant and within a decade became head of the Department of Geodesy. In subsequent years I. V. Lesnykh held senior academic and administrative positions, including vice-rector for scientific activities. In 1992 he was elected Rector, serving until 2006, and afterward continued to work at the institution as its President, remaining actively engaged in its academic and organizational life. Under his leadership, the institution turned into academy that resulted in establishing new faculties and novel fields of training, development novel educational programs and foundation of five institutes. In 2005 he supported the founding of the International Exhibition and Scientific Congress GEO-Siberia that became Russia's leading professional forum. GEO-Siberia brought together scientists, industry, and practitioners and raised the SSGA's national and international profile. The article is accompanied by colleagues' personal recollections of working with I. V. Lesnykh and of their shared projects.

Keywords: Department of Geodesy, NIIGAiK, SSGA, light range finder

For citation:

Nikonov A. V., Lesnykh I. A. (2026). Ivan V. Lesnykh – geodesist, scientist, rector: a tribute on the 90th anniversary of his birth. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 184–192. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-184-192>

4 июня 2026 г. исполняется 90 лет со дня рождения Ивана Васильевича Лесных, который внес заметный вклад в геодезическое производство, науку и развитие высшего геодезического образования в Сибири. На протяжении многих лет он занимал пост ректора Сибирской государственной геодезической академии, а затем и ее президента. Юбилейная дата является поводом проследить жизненный путь этого замечательного человека.

Иван Васильевич родился 4 июня 1936 г. в селе Суслово Мамонтовского района Алтайского края в семье колхозника; его отец, Василий Михайлович, погиб на фронте в самом начале Великой Отечественной войны. В 1944 г. И. В. Лесных поступил в 1-й класс Сусловской семилетней школы. В 1951 г., после окончания школы, пятнадцатилетним парнишкой он поступил в Семипалатинский топографический техникум, который с отличием окончил в 1955 г. Летний сезон И. В. Лесных работал техником-топографом отряда № 62 (г. Джамбул) Алма-Атинского аэрогеодезического предприятия. В сентябре 1955 г. Иван Васильевич поступил на первый курс Новосибирского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (НИИГАиК). Очевидно, в те годы еще не было практики принимать выпускников профильных техникумов сразу на второй курс.

И. В. Лесных был активным студентом: он участвовал в общественной жизни института, состоял в научных студенческих кружках, а в летние месяцы трудился по специальности (рис. 1). Со второго курса он получал стипендию имени Ф. Н. Красовского.



Рис. 1. И. В. Лесных во время работ по съемке подкрановых путей, 1950-е гг.

С июня по октябрь 1959 г. Иван Васильевич в должности техника проходил производственную практику в комплексной экспедиции «Гидропроекта» на изысканиях канала Иртыш – Караганда. Вместе с И. В. Лесных практику проходила студентка Наталья Борисовна Тимофеевская, в марте 1960 г. ставшая

его женой. Она работала в тех же организациях, что и Иван Васильевич, с 1961 по 2013 г. преподавала в НИИГАиК, где прошла путь от инженера кафедры геодезии до профессора кафедры вычислительной математики. В 1972 г. Наталья Борисовна защитила кандидатскую диссертацию на тему «Уравнивание и оценка точности полигонометрических сетей с использованием ЭВМ». Дочь Ивана Васильевича, Галина Ивановна, продолжила геодезическую династию: в 1983 г. с отличием окончила НИИГАиК, в 1993 г. под руководством Г. Г. Асташенкова защитила кандидатскую диссертацию на тему «Комплексное исследование результатов уравнивания свободных нивелирных сетей специального назначения».

В 1960 г. из стен НИИГАиК вышло 42 человека с дипломом по специальности «Инженерная геодезия», причем с отличием вуз окончили всего четыре выпускника: И. В. Лесных, Н. Б. Шлома, А. Г. Фомин и Г. Г. Асташенков (впоследствии – доктор технических наук, заведующий кафедрой инженерной геодезии Сибстрин).

По распределению Иван Васильевич отправился в распоряжение Западно-Сибирского геологического управления (г. Сталинск, ныне г. Новокузнецк), откуда был направлен в Кузнецкую топографическую экспедицию. Однако в экспедиции вместо должности инженера-геодезиста ему было предложено устроиться в качестве техника-топографа. Для выпускника-отличника такое предложение оказалось неприемлемым, и Иван Васильевич был вынужден вернуться и временно устроиться на должность инженера-геодезиста в Новосибирское отделение ГПИ «Электросетьпроект», где работал на изысканиях линий электропередачи в Иркутской области и в Комсомольске-на-Амуре.

С 8 февраля 1961 г. Иван Васильевич был принят на должность ассистента кафедры геодезии НИИГАиК. Символично, что именно 8 февраля в наше время отмечается День российской науки. Однако в связи с письмами из главного управления геологии и охраны недр 1 июня 1961 г. Ивана Васильевича уволили из института и снова направили по месту распределения. По прибытии выяснилось, что экспедиция не испытывает потребности в инженерах-геодезистах, и в конечном итоге И. В. Лесных была выдана справка о том, что

Кузнецкая топографическая экспедиция не возражает против его свободного трудоустройства. Уже в июле 1961 г. И. В. Лесных восстанавливается в должности ассистента кафедры геодезии, и с этого момента начинается его педагогическая и научная деятельность. В то время кафедрой геодезии заведовал к. т. н. Афанасий Ильич Агроскин, в прошлом директор НИИГАиК. Ученое звание профессора было присвоено ему в 1963 г. [1, 2].

В 1962 г. преподаватель кафедры физики и радиогеодезии Федор Павлович Носков применительно к светодальномеру СВВ-1 разработал нулевой способ наблюдений, повышающий точность измерений в 1,5–2 раза. В 1962–1963 гг. Ф. П. Носков совместно с подготовленной им студенческой бригадой измерил светодальномером несколько базисных сторон 2-го и 3-го классов. В 1963–1964 гг. научными сотрудниками НИИГАиК Ф. П. Носковым, М. А. Магуськиным и И. В. Лесных по нулевому способу дальномером СВВ-1 были измерены базисные стороны триангуляции 2–3-го классов на территории ряда крупных городов (Душанбе, Шилка, Иваново, Ашхабад) [3]. В 1964–1965 гг. светодальномерная бригада НИИГАиК продолжала измерять прибором СВВ-1 базисные стороны в государственной триангуляции 1-го и 2-го классов, причем в 1964 г. Ф. П. Носков защитил кандидатскую диссертацию на тему «Некоторые вопросы теории и практики нулевого метода светодальномерных измерений». В 1963 г. под руководством Ф. П. Носкова по теме применения светодальномера СВВ-1 защитили дипломные работы и некоторые студенты, среди которых «Почетный геодезист», «Почетный изыскатель» Исаак Фишелевич Кацман (более 60 лет непрерывного трудового стажа, с 1967 по 1998 г. работал в институте «Омскводпроект») и Ростислав Михайлович Петкевич.

В ноябре 1964 г. Иван Васильевич был зачислен в трехгодичную очную аспирантуру НИИГАиК. А. И. Агроскин, тогда уже заведующий кафедрой высшей геодезии, выступил его научным руководителем. Следует отметить, что в декабре 1964 г. в очную аспирантуру НИИГАиК был также зачислен ассистент кафедры высшей геодезии Евгений Иннокентьевич Паншин. Его диссертационное исследование было посвящено измерению сторон триангуляции 1-го и 2-го классов све-

тодальнономером СВВ-1, научное руководство осуществлял д. т. н., профессор К. Л. Проворов [4].

С 1964 по 1967 г. И. В. Лесных при выполнении полигонометрических работ в городских условиях измерял длины сторон светодальнономером СВВ-1. Полученный производственный опыт лег в основу кандидатской диссертации Ивана Васильевича на тему «Построение геодезических сетей специального назначения с применением светодальномеров». В работе им были рассмотрены вопросы предвычисления точности проектируемых в городах сетей триангуляции и полигонометрии. На основе статистической обработки производственных материалов была получена зависимость между расстоянием и средней квадратической ошибкой его измерения одним полным приемом по нулевому способу. Иван Васильевич разработал практические рекомендации по работе со светодальнономером СВВ-1 и контролю результатов измерений, также им рассмотрены вопросы уравнивания ходов светодальнономерной полигонометрии и обоснована экономическая эффективность таких построений.

И. В. Лесных за три года обучения в аспирантуре выполнил большой объем производственных светодальнономерных измерений при создании городских геодезических сетей, выступал на зональных и институтских научно-технических конференциях, написал диссертацию объемом 234 страницы и опубликовал пять научных статей. Кроме этого, он постоянно работал над изучением отечественной и зарубежной литературы по широкому кругу вопросов своей специальности, поддерживал связь с производственными организациями, оказывая им помощь консультациями и советами. Также Иван Васильевич принимал участие в общественной жизни института, являлся общественным инструктором по гражданской обороне. За активное участие в проведении мероприятий, направленных на укрепление гражданской обороны, он был награжден знаком «Отличник гражданской обороны СССР» (1967).

В марте 1968 г. в Ученом совете Новосибирского инженерно-строительного института состоялась успешная защита кандидатской диссертации И. В. Лесных. После защиты Иван Васильевич продолжил работу на кафедре геодезии НИИГАиК, сначала стар-

шим преподавателем кафедры, а с 1969 г. – доцентом. В ученом звании доцента он был утвержден в 1970 г. Иван Васильевич выполнял на кафедре большую работу: на высоком научном и техническом уровне вел курс лекций, проводил практические занятия, выполнял методическую работу, являлся руководителем и ответственным исполнителем хозяйственной темы, продолжал заниматься научной деятельностью и общественной работой (руководил научным студенческим кружком при кафедре геодезии и являлся ученым секретарем совета института).

В августе 1971 г. заведующий кафедрой геодезии д. т. н., профессор А. Н. Гридчин уволился из НИИГАиК в связи с переходом в Ростовский инженерно-строительный институт. На должность заведующего кафедрой был избран И. В. Лесных, под его руководством коллектив проделал большую работу по преобразованию кафедры в выпускающую. В 1970–1980-х гг. НИИГАиК выпускал ежегодно порядка 150–200 инженеров по специальности «Инженерная геодезия». Кафедра инженерной геодезии уже не могла справиться с таким большим количеством студентов, поэтому в вузе стали работать одновременно две выпускающие кафедры. Иван Васильевич возглавлял кафедру геодезии два срока подряд, с 1971 по 1982 г., а затем перешел на должность доцента кафедры. В 1983 г. И. В. Лесных был награжден значком «Отличник геодезии и картографии». С 1982 г. кафедрой геодезии заведовал к. т. н., доцент Вадим Яковлевич Яшин.

В 1970–1980-х гг. НИИГАиК участвовал в выполнении хозяйственных научно-исследовательских работ на ряде энергетических объектов. На Ленинградской АЭС работы выполняли сотрудники кафедр геодезии и инженерной геодезии. Научным руководителем темы со стороны кафедры геодезии выступал к. т. н., доцент И. В. Лесных, со стороны кафедры инженерной геодезии – д. т. н., профессор В. Г. Конусов. Кроме того, с 1985 г. сотрудники кафедры геодезии НИИГАиК участвовали в выполнении геодезических измерений на Чернобыльской АЭС. Целью этих работ было определение изменения высотного положения опор подшипников турбоагрегатов в различных тепловых состояниях для возможности корректировки расцентро-

вок валопровода. Научным руководителем этой темы был И. В. Лесных.

В ночь на 26 апреля 1986 г. на 4-м энергоблоке ЧАЭС произошел взрыв атомного реактора – одна из крупнейших аварий в истории атомной энергетики. Несмотря на произошедшую катастрофу, институту было предложено продолжить выполнять высокоточные измерения на объекте. С 26 октября по 2 ноября 1986 г. для заключения договора в 30-километровую зону отчуждения Чернобыльской АЭС выезжали И. В. Лесных и А. Л. Малиновский. Наиболее активное участие в выполнении этих ответственных работ принимал Павел Васильевич Мучин, причем к работам он приступил в самый опасный период (ноябрь – декабрь 1986 г.), исследования проводились в чрезвычайно сложных условиях: при наблюдении турбоагрегата № 6 мощность радиоактивного излучения достигала 40–60 мР/ч, что превышает допустимый уровень излучения в 3–5 тысяч раз. В общей сложности П. В. Мучин совершил более 20 командировок на ЧАЭС с общим отработанным временем 347 суток [5]. В послеаварийный период на объект выезжали многие сотрудники и студенты кафедры геодезии, ответственным исполнителем работ выступал Александр Леонидович Малиновский, который в 1998 г. защитил диссертацию на тему «Разработка технологий геодезического обеспечения эксплуатации основного энергетического оборудования: на примере Ленинградской и Чернобыльской АЭС». В 1997 г. за мужество и самоотверженность, проявленные при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, орденом Мужества были награждены: П. В. Мучин, А. Л. Малиновский, В. С. Никифоров и И. В. Лесных, а позднее и В. П. Ненахов.

В 1985 г. Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР разрешило кандидатам технических наук из НИИГАиК (П. Д. Гуку, И. В. Лесных и В. Ф. Райфельду) осуществлять научное руководство аспирантами. В те годы научными руководителями обычно выступали доктора наук, поэтому кандидатам наук требовалось особое разрешение для того, чтобы начать работать с аспирантами. Первым под руководством И. В. Лесных кандидатскую диссертацию защитил Б. П. Харитонов, всего же Иван Васильевич подготовил 12 кандидатов наук [6].

В конце 1988 г. И. В. Лесных был назначен на должность проректора по научной работе НИИГАиК (продолжал на 0,5 ставки педагогическую работу на кафедре геодезии). В этой должности Иван Васильевич сменил д. т. н., профессора Виталия Вячеславовича Бузука, который работал проректором по науке в течение 20 лет. В мае 1991 г. заведующий кафедрой геодезии Валерий Борисович Жарников выступил на заседании кафедры с представлением И. В. Лесных к ученому званию профессора. Несмотря на распад СССР, произошедший 26 декабря 1991 г., решением Государственного комитета СССР по народному образованию 29 января 1992 г. Лесных Ивану Васильевичу было присвоено ученое звание профессора по кафедре геодезии (рис. 2). С 1991 г. И. В. Лесных стал исполнять должность ректора НИИГАиК, сменив на этом посту Н. А. Мещерякова. В июне 1992 г. И. В. Лесных был официально утвержден в должности ректора НИИГАиК.



Рис. 2. Профессор И. В. Лесных

В конце 1990 г. ректорат НИИГАиК и профессора кафедры геодезии И. В. Лесных и П. А. Карев пришли к выводу о возможности и перспективности подготовки специалистов по кадастру на базе специальности «Прикладная геодезия». В июне 1991 г. институт заключил договор с Госкомземом РСФСР о подготовке специалистов со специализа-

цией по земельному кадастру в количестве 25 человек ежегодно (с 1992 г. дополнительным соглашением была установлена цифра в 50 студентов со специализацией «Городской земельный кадастр»). В 1995 г. сын И. В. Лесных, Анатолий Иванович, окончил вуз по специальности «Прикладная геодезия» со специализацией «Кадастр», в 2000 г. он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Геодезическое обеспечение инвентаризации земель застроенных территорий».

Инициатива НИИГАиК по открытию специальности «Городской кадастр» нашла поддержку в московских профильных вузах (МИИГАиК и МИИЗ), и благодаря общим усилиям приказом Госкомвуза России от 5 марта 1994 г. № 180 была утверждена эта новая специальность. Организационные мероприятия по открытию в НИИГАиК подготовки специалистов по городскому кадастру, по утверждению названия специальности выполнялись под руководством и при прямом участии И. В. Лесных. Разработкой первых учебных планов активно занимались проректор по учебной работе А. К. Синякин, декан геофака М. И. Кузьмин, заведующий кафедрой геодезии и кадастра В. Б. Жарников. Непосредственно подготовкой документации по обоснованию потребности в специалистах по городскому кадастру, согласованием наименования и содержания специальности в разных инстанциях (в том числе в Москве), заключением договоров на подготовку специалистов с Госкомземом РСФСР занимался профессор кафедры геодезии П. А. Карев.

В 1994 г. статус нашего вуза был повышен, он стал именоваться Сибирской государственной геодезической академией (СГГА). 1990-е гг. были сложным временем для страны: они характеризуются глубоким экономическим кризисом и переделом собственности. В этих непростых условиях, когда резко сократилось государственное финансирование, руководству академии (рис. 3) удалось перестроить работу вуза с учетом сложившихся социально-экономических отношений в государстве. В академии были открыты новые перспективные направления деятельности, в учебный процесс и научные исследования внедрялись самые современные технические достижения, происходила активная компьютеризация образовательного процесса.



Рис. 3. Руководство СГГА. Слева направо: И. Н. Терехов, Е. И. Паншин, В. Б. Жарников, И. В. Лесных, А. П. Карпик, А. К. Синякин, В. А. Середович

По состоянию на 2003 г. было открыто более 10 новых специальностей (городской кадастр, землеустройство и земельный кадастр, информационные системы и технологии, метрология и метрологическое обеспечение, геоэкология, экономика и управление на предприятии и др.), открыты филиалы и представительства вуза в городах Сибири и Новосибирской области, контингент обучающихся вырос с 2 800 до 8 500 человек. Структурно академия включала в себя пять институтов: геодезии и менеджмента (образован в 1997 г.), кадастра и геоинформационных систем (образован в 1995 г.), оптики и оптических технологий (образован в 1994 г.), дистанционного зондирования и природопользования (образован в 1999 г.), дистанционного обучения (образован в 2001 г.). Более подробно о структурных подразделениях СГГА, направлениях подготовки специалистов и научных исследований можно узнать в работах [7, 8].

В 1996 г. И. В. Лесных был избран на должность заведующего кафедрой геодезии. Будучи ректором академии, он продолжал заведовать кафедрой до 2006 г., при этом читал лекции для студентов 2-го курса, проводил лабораторно-практические занятия, руководил аспирантами и выполнял другие обязанности по кафедре [9]. В июне 1996 г. за многолетнюю научно-педагогическую деятельность, большой вклад в подготовку высококвалифицированных специалистов Иван Васильевич был награжден знаком «Почетный работник высшего образования России». В 1997 г. конференцией коллектива И. В. Лес-

ных был вновь избран ректором. В марте 2002 г. ему было присвоено почетное звание «Заслуженный работник геодезии и картографии Российской Федерации» (рис. 4) [10]. В мае 2002 г. Иван Васильевич был избран ректором в третий раз (утвержден в должности ректора Министерством образования РФ на срок до 4 июня 2006 г.).



Рис. 4. Ректор И. В. Лесных

В 2002–2004 гг. делегация СГГА посетила крупнейшую международную выставку в области геоиндустрии – InterGEO. Вдохновленные масштабом выставки, проректор по научно-исследовательской работе В. А. Середович и проректор по организационно-экономической и международной деятельности В. И. Татаренко выступили инициаторами идеи проведения в Новосибирске российской отраслевой выставки и научного конгресса. Эта инициатива была поддержана ректором академии И. В. Лесных, и в 2005 г. состоялась первая Международная выставка и научный конгресс «ГЕО-Сибирь», которые проводятся по сей день, являясь одной из визитных карточек СГУГиТ и уникальной площадкой для взаимодействия представителей научного, производственного и коммерческого секторов геоиндустрии.

В 2006 г. по достижении 70-летнего возраста Иван Васильевич Лесных был переведен на должность президента СГГА, а с 2014 по 2016 г. работал советником при ректорате. На кафедре геодезии он продолжал трудиться в должности профессора-консультанта до

2013 г. За большой личный вклад в развитие отечественной науки И. В. Лесных было присвоено звание «Почетный работник науки и техники Российской Федерации» (2016).

Ежегодно Иван Васильевич участвовал в организации чествования ветеранов Великой Отечественной войны, в дни памятных дат (в том числе в день годовщины Чернобыльской аварии) вместе с ветеранами вуза возлагал цветы к Монументу Славы воинов-сибиряков (рис. 5). Летом 2016 г. Иван Васильевич Лесных вышел на пенсию, а 10 сентября в результате несчастного случая на реке его не стало.



Рис. 5. При возложении цветов к Вечному огню. Слева направо: В. А. Середович, П. В. Мучин, Ю. С. Щерабаков, И. В. Лесных

Для лучшего понимания, каким человеком был Иван Васильевич Лесных, обратимся к воспоминаниям его учеников, коллег и близких. Так вспоминал своего преподавателя к. т. н., доцент Виктор Николаевич Ключниченко: «Иван Васильевич Лесных читал нам лекции по геодезии. Его мягкий тихий голос и его легкую улыбку я часто вспоминаю, как будто это было вчера. Поправки, которые он нам преподносил о выпучивании грунтов под штативом, я в практической деятельности не встречал, однако вспоминаю его до сих пор с большим уважением...» [11]. Как вспоминает к. т. н., профессор Владимир Адольфович Середович, «Иван Васильевич казался мягким, но в реальности для достижения поставленной цели проявлял стремление и упорство».

Много лет под непосредственным руководством И. В. Лесных работал д. э. н., профессор Валерий Иванович Татаренко, кото-

рый так вспоминает Ивана Васильевича: *«По своей сути И. В. Лесных был достаточно осторожным человеком, он никогда не принимал скоропалительных решений. У него было удивительное чутье на все новое, что могло принести пользу как вузу, так и ему лично. Именно благодаря его поддержке в академии были реализованы многие начинания, которые в последующем способствовали формированию имиджа вуза. Это и структурное переустройство с формированием в качестве одного из управленческих уровней «институтов» вместо факультетов (это было реализовано чуть ли не впервые в России, и уж точно – в первом из новосибирских вузов), организация и проведение международного научного форума «ГЕО-Сибирь», ставшего одним из крупнейших такого рода мероприятий в восточных регионах страны. При его непосредственной поддержке в вузе была сформирована сеть диссертационных советов по геодезическим наукам и оптике, и даже по экономике и управлению на предприятиях. Особенно его способности как руководителя проявились в период «лихих 90-х», когда академия в условиях хронического недофинансирования не только не имела проблем с тепло-энергоснабжением, но и задержек со своевременной выплатой заработной платы персоналу. При его непосредственном участии в его бытность ректором были установлены прочные партнерские взаимоотношения с вузами Германии (Берлинский и Дрезденский технические университеты), Китая (технические университеты в Шеньяне и Нанкине), с Монгольским техническим университетом».*

Соавтор статьи, Яна Анатольевна Лесных – внучка Ивана Васильевича, ныне работающая в СГУГиТ, вспоминает: *«Мои самые теплые детские воспоминания связаны с дедушкой. Он учил меня рыбачить, жарить блины, собирать березовый сок. Всегда рассказывал интересные и поучительные истории из жизни. Он прививал любовь к чтению и учебе, учил мыслить логически и поступать по совести. Я всегда знала, что могу прийти к дедушке с любым вопросом, радостью, печалью и получить в ответ поддержку и ценный совет. Часами слушала его рассказы о жизни, работе, друзьях и коллегах. Для меня он всегда был мягкий, улыбочивый и понимающий».*

И. В. Лесных возглавил вуз в кризисное для страны время, но благодаря своим личным качествам и упорству ему удалось не только сохранить имеющуюся сибирскую геодезическую кузницу кадров, но и существенно развить ее, вместе с коллегами вывести академию в число передовых и быстро развивающихся новосибирских вузов.

Некоторые факты из трудовой биографии И. В. Лесных и истории НИИГАиК – СГГА – СГУГиТ помогли уточнить сотрудники и ветераны университета: Золотарев И. И., Татаренко В. И., Жарников В. Б., Середович В. А., Дьяков Б. Н., Аврунев Е. И., Мучин П. В., Малиновский А. Л., Падве В. А. и др. При подготовке статьи были использованы материалы Центра истории и культуры СГУГиТ, архива и научно-технической библиотеки университета. Сведения о зарождении специальности «Городской кадастр» любезно предоставил Карев П. А. Авторы статьи благодарны всем названным выпускникам НИИГАиК.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Никонов А. В. Афанасий Ильич Агроскин – геодезист, педагог, военный топограф. Геодезия и картография. 2026. № 3. С. 52–63. DOI 10.22389/0016-7126-2026-1029-3-52-63.
2. В НИИГАиКе встретиться повезло нам с тобой... : сборник очерков. В 2 частях. Ч. 2. Сост. А. В. Никонов ; под ред. И. И. Золотарева. Новосибирск : СГУГиТ, 2023. 201 с.
3. Лесных И. В. Построение геодезических сетей специального назначения с применением светодальномеров : автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. Новосибир. инж.-строит. ин-т им. В. В. Куйбышева. Новосибирск, 1968. 20 с.
4. Никонов А. В. Выдающийся советский геодезист – Константин Леонтьевич Проворов (к 110-летию со дня рождения). Геодезия и картография. 2019. № 9. С. 55–64. DOI 10.22389/0016-7126-2019-951-9-55-64.
5. Мучин П. В. Геодезия и техносферная безопасность – основное содержание моей профессии. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 4. С. 166–173. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-4-166-173.
6. Лесных Ивану Васильевичу – 80 лет. Геодезия и картография. 2016. № 5. С. 61.
7. Лесных И. В., Осипов А. Г., Колоткин М. Н., Середович В. А. Сибирская государственная геодезическая академия. 70 лет. Новосибирск : СГГА, 2003. 22 с.

8. Лесных И. В. 70 лет Сибирской государственной геодезической академии. Геопрофи. 2003 № 1. С. 50–52.
9. Об истории кафедры геоматики и инфраструктуры недвижимости (до 2013 года – кафедра геодезии) СГУГиТ. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 1. С. 147–151.
10. Никонов А. В. История Сибирского государственного университета геосистем и технологий через призму геодезической фалеристики. Геодезия и картография. 2023. № 11. С. 52–64. DOI 10.22389/0016-7126-2023-1001-11-52-64.
11. Воспоминания о САГИ, НИИГАИК, СГГА, СГУГиТ : сборник. Сост. В. Н. Ключниченко; под ред. И. И. Золотарева. Новосибирск : СГУГиТ, 2019. 186 с.

REFERENCES

1. Nikonov A. V. (2026) Afanasy Ilyich Agroskin, surveyor, teacher, and military topographer. *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 87 (3), pp. 52–63 DOI 10.22389/0016-7126-2026-1029-3-52-63 [in Russian].
2. V NIIGAiKe vstretit'sya povezlo nam s toboi....: sbornik ocherkov. V 2 chastyakh. Chast' 2. [We were lucky to meet at NIIGAiK....: a collection of essays. In 2 parts. Part 2] Sostavitel' A. V. Nikonov; pod redaktsiei I. I. Zolotareva. Novosibirsk: SGUGiT, 2023, 201 p. [in Russian].
3. Lesnykh I. V. (1968) *Construction of special-purpose geodetic networks using rangefinders* : Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Novosibirsk Civil Engineer. Kuibyshev Institute. Novosibirsk, 20 p. [in Russian].
4. Nikonov A. V. (2019) Outstanding Soviet Geodesist – Konstantin Leontyevich Provorov (on the 110th Anniversary of His Birth). *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 80 (9), pp. 55–64. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-951-9-55-645 [in Russian].
5. Muchin P. V. (2023) Geodesy and technosphere safety – the main content of my profession. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 28(4), 166–173 [in Russian].
6. Ivan Vasilyevich Lesnykh turns 80.(2016) *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 5, p. 61. [in Russian].
7. Lesnykh I. V., Osipov A. G., Kolotkin M. N., Serebovich V. A. (2003) Siberian State Geodetic Academy. 70 years. Novosibirsk: SSGA, 22 p. [in Russian].
8. Lesnykh I. V. (2003) 70 years of the Siberian State Geodetic Academy. *Geoprofi [Geoprofi]*, 1, pp. 50–52 [in Russian].
9. On the history of the Department of Geomatics and Real Estate Infrastructure (until 2013 – the Department of Geodesy) of SSUGiT. (2023) *Vestnik SGUGiT*, 28 (1), pp. 147–151 [in Russian].
10. Nikonov A. V. (2023) History of the Siberian State University of Geosystems and Technologies in geodetic phaleristics. *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 84 (11), pp. 52–64. DOI 10.22389/0016-7126-2023-1001-11-52-64 [in Russian].
11. emories of SAGI, NIIGAIK, SSGA, SSUGiT: collection (2019) / sost. V. N. Klyushnichenko; pod red. I. I. Zolotareva, Novosibirsk : SGUGiT, 186 p. [in Russian].

Об авторах

Антон Викторович Никонов – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГУГиТ, ведущий инженер АО «Сибтехэнерго».

Яна Анатольевна Лесных – инженер издательско-полиграфического центра.

Author details

Anton V. Nikonov – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying; Leading Engineer.

Iana A. Lesnykh – Engineer, Publishing and Printing Center.

Получено / Received 19.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised 30.04.2026

Принята к публикации / Accepted 14.05.2026