

70/2 2026
ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ

ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА



МИИГАиК

ISSN 0536-101X
e-ISSN 2618-7299

Published by Moscow State University
of Geodesy and Cartography (MIIGAik)

Izvestia Vuzov.

**Geodesy and
Aerophotosurveying**

Научное издание Московского государственного университета
геодезии и картографии (МИИГАиК)



Научное издание Московского государственного университета
геодезии и картографии (МИИГАиК)

Published by Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAik)
Izvestia Vuzov.

Geodesy and Aerophotosurveying

ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА

70/2 2026

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ

Москва, Россия
Moscow, Russia

О журнале

полное название	Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка»
сокращенное название	Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»
специализация	аэрокосмические исследования Земли, геодезия, геоинформатика, землеустройство, кадастр, картография, мониторинг земель, фотограмметрия, оптические и оптико- электронные приборы и комплексы
периодичность	6 выпусков в год
языки	русский, английский
учредитель, издатель	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК)
страна, город	Россия, Москва
год основания	1957
ISSN	0536-101X
e-ISSN	2618-7299
веб-сайт	www.miigaik.ru/gia
подписка	подписной индекс в Каталоге — 70365 Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ
индексирование	включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, Российский индекс научного цитирования (ядро РИНЦ), RSCI (Russian Science Citation Index) Web of Science, «Белый список» научных журналов
лицензия	материалы журнала распространяются в открытом доступе по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

About the Journal

full international title	Proceedings of Higher Education Institutions. Geodesy and Aerophotosurveying (Izvestiâ vyssih učebnyh zavedenij. Geodeziâ i aërofotos'emka)
short international title	Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying
subject areas	earth aerospace survey, geodesy, geoinformatics, land management, cadastre, cartography, land monitoring, photogrammetry, optical and optoelectronic devices and complexes
frequency	bimonthly (every two months)
languages	Russian, English
founded and published by	Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)
city, country	Moscow, Russia
founded in	1957
ISSN	0536-101X
e-ISSN	2618-7299
website	www.miigaik.ru/gia
subscription	catalogue subscription number – 70365 (Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation)
indexed in	Higher Attestation Commission list of reviewed scientific journals, Russian Science Citation Index based on the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU – RSCI (Web of Science group), White List of scientific journals
license	the material is published on the basis of Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Редакционная коллегия

главный редактор Савиных Виктор Петрович

академик РАН, д-р техн. наук,
профессор; Россия
д-р геогр. наук; Россия

**заместитель
главного редактора** Братков Виталий Викторович

**члены
редакционной
коллегии** Белоцерковский Андрей Владленович
Бондур Валерий Григорьевич
Верещака Тамара Васильевна

д-р физ.-мат. наук, профессор; Россия
академик РАН, д-р техн. наук, профессор; Россия
д-р техн. наук, профессор; Россия
канд. техн. наук; Колумбия

Вилла Ортега Хосе Хоакин
Гайрабеков Ибрагим Гиланиевич
Гвишиани Алексей Джерменович
Господинов Славейко

д-р техн. наук; Россия
академик РАН, д-р физ.-мат. наук; Россия
д-р геодезии, профессор; Болгария

Денисенко Олег Валентинович

д-р техн. наук; Россия

Журкин Игорь Георгиевич

д-р техн. наук, профессор; Россия

Кресс Вольфганг

д-р техн. наук, профессор; Германия

Малинников Василий Александрович

д-р техн. наук, профессор; Россия

Мазурова Елена Михайловна

д-р техн. наук; Россия

Нейман Юрий Михайлович

д-р техн. наук, профессор; Россия

Непоклонов Виктор Борисович

д-р техн. наук, профессор; Россия

Нехин Сергей Степанович

д-р техн. наук; Россия

Оберст Петер Юрген

д-р техн. наук, профессор; Германия

Пимшин Юрий Иванович

д-р техн. наук, профессор; Россия

Райзман Юрий Григорьевич

канд. техн. наук; Россия

Сизов Александр Павлович

д-р техн. наук, профессор; Россия

Уставич Георгий Афанасьевич

д-р техн. наук, профессор; Россия

Холота Петр

д-р техн. наук; Чехия

Чибуничев Александр Георгиевич

д-р техн. наук, профессор; Россия

Шух Гаральд

д-р техн. наук, профессор; Германия

Яшкин Станислав Николаевич

д-р техн. наук, профессор; Россия

Учредитель и издатель
ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет
геодезии и картографии»
Адрес: 105064, Москва,
Гороховский пер., 4
e-mail: gia@miigaik.ru

© МИИГАиК

Выпускающий редактор:
Фомина Н.В.
Научный редактор:
Шишкина М.В.
Технический редактор:
Журавлева Е.Д.
Дизайн-макет: Леднёва С.В.
Верстка: Леднёва С.В.,
Журавлева Е.Д.

Подписано в печать 24.04.2026.
Гарнитуры Source Serif Pro,
Montserrat.
Формат 60×90¹/₈.
Бумага мелованная.
Печать цифровая.
Объем 19,75 усл. печ. л.
Тираж 500 экз.
Заказ № 16. Цена договорная.

Редакция
Служба редакционно-
издательской деятельности
и наукометрии

Отпечатано в типографии
ООО «ПринтСайдАп»
printside.ru

Editorial Board

editor-in-chief	Viktor P. Savinykh	RAS Academician, Professor, Doctor of Engineering; Russia
deputy editor-in-chief	Vitaliy V. Bratkov	Dr. of Sci. (Geography); Russia
members of the editorial board	Andrey V. Belotserkovskiy	Professor, Dr. of Sci. (Phys.-Math); Russia
	Valeriy G. Bondur	RAS Academician, Professor, Dr. of Engineering; Russia
	Alexander G. Chibunichev	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Oleg V. Denisenko	Doctor of Engineering; Russia
	Ibragim G. Gairabekov	Doctor of Engineering; Russia
	Slaveyko Gospodinov	Professor, Dr. of Sci. (Geodesy); Bulgaria
	Alexei D. Gvishiani	RAS Academician, Dr. of Sci. (Phys.-Math); Russia
	Petr Holota	Doctor of Engineering; Czech Republic
	Wolfgang Kresse	Professor, Doctor of Engineering; Germany
	Vasiliy A. Malinnikov	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Elena M. Mazurova	Doctor of Engineering; Russia
	Sergey S. Nekhin	Doctor of Engineering; Russia
	Viktor B. Nepoklonov	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Yuri M. Neyman	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Jürgen Oberst	Professor, Doctor of Engineering; Germany
	Yuri I. Pimshin	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Yuri G. Raizman	PhD in Engineering; Russia
	Harald Schuh	Professor, Doctor of Engineering; Germany
	Alexander P. Sizov	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Georgy A. Ustavich	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Tamara V. Vereshchaka	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	José Joaquín Vila-Ortega	PhD in Engineering; Colombia
	Stanislav N. Yashkin	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Igor G. Zhurkin	Professor, Doctor of Engineering; Russia

Founded and published by
Moscow State University
of Geodesy and Cartography
Address
105064 Moscow, Russia,
Gorokhovskiy pereulok, 4
e-mail: gia@miigaik.ru

© MIIGAiK

Project Management by:
Nina V. Fomina
Edited by: Mariya V. Shishkina
Design concept by:
Svetlana V. Ledneva
Illustrations by:
Ekaterina D. Zhuravlyova
Layout by: Svetlana V. Ledneva,
Ekaterina D. Zhuravlyova

Published on 24.04.2026.
Fonts Source Serif Pro, Montserrat.
Format 60×90¹/₈.
Coated paper.
Digital print.
19.75 printed sheet.
500 copies. Order No. 16.

Editorial Office
Department of Editorial
and Publishing Activities
and Scientometrics

Printed by PrintSide
printsideru

Содержание

геодезия	Косарев Н.С., Сердаков Л.Е., Шоломицкий А.А., Крапивин В.С. Определение констант призмённых отражателей для использования их в автоматизированных системах геодезического мониторинга	8
	Мареев А.В., Янгальшев В.Р., Макеев А.В., Каргина Л.А. Оценка точности определения расстояний по расходимости лазерного луча в системах геодезического мониторинга	20
аэрокосмические исследования земли, фотограмметрия	Гусев А.Н., Насереддин Х.Х. Возможность применения ТИМ-модели для геодезического обеспечения реставрации усадьбы	34
	Бояренкова А.Д. Влияние погрешностей угловых элементов внешнего ориентирования снимков на точность определения координат точек местности	50
геоинформатика, картография	Варущенко А.С., Нырцов М.В. Картографирование малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях	60
	Камынина Н.Р., Логинов Д.С. Технологический радар формирования отечественного интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием	71
землеустройство, кадастр и мониторинг земель	Чуприн М.С. Применение переносного лазерного сканирования, основанного на технологии одновременной локализации и построения карты, в кадастровой деятельности для создания поэтажных планов	91
	Ковязин В.Ф., Богданова Е.А., Волкова Я.А. Методика анализа территории при установлении охранных зон особо охраняемых природных территорий	105
	Тарарин А.М., Проскурина А.А. Разработка структуры и классификации дежурных планов (карт) градостроительной информации	118
	Шиленкова А.С., Беленко В.В. Проблемы использования космических снимков при зонировании территории населённых пунктов для комплексного развития территории	131
оптические и оптико-электронные приборы и комплексы	Чаусов Е.В. Особенности применения штриховых мп при испытаниях авиационных оптико-электронных систем наблюдения	144
хроника	65 лет Александру Михайловичу Луговскому	158

Contents

geodesy	Kosarev N.S., Serdakov L.E., Sholomitskii A.A., Krapivin V.S.	8
	Determination of Prism Constant Values for Prism Reflectors Intended for Use in Automated Geodetic Monitoring Systems	
	Mareev A.V., Yangelishev V.R., Makeev A.V., Kargina L.A.	20
	Distance Estimation Based on Laser Beam Divergence in Geodetic Monitoring Systems	
earth aerospace survey, photogrammetry	Gusev A.N., Nasreddin H.H.	34
	The Possibility of Using the TIM Model for the Surveying Support of Manor Restoration	
	Boyarenkova A.D.	50
	Influence of Errors in the Angular Elements of Exterior Orientation on the Accuracy of Ground Point Coordinate Determination	
geoinformatics, cartography	Varushchenko A.S., Nyrtsov M.V.	60
	Usage of Polyhedral Projections for Mapping Small Solar System Bodies	
	Kamynina N.R., Loginov D.S.	71
	Technological Radar for the Formation of a Domestic Integrated Geoinformation Management System for Subsoil Use	
land management, cadastre and land monitoring	Chuprin M.S.	91
	Handheld Laser Scanning with Simultaneous Localization and Mapping for Cadastral Floor Plan Creation	
	Kovyazin V.F., Bogdanova E.A., Volkova J.A.	105
	Methodology of Territory Analysis in the Establishment of Protected Zones of Specially Protected Natural Areas	
	Tararin A.M., Proskurina A.A.	118
	Development of the Structure and Classification of Emergency Plans (Maps) of Urban Planning Information	
	Shilenkova A.S., Belenko V.V.	131
	Problems of Using Satellite Images in the Zoning of the Territory of Settlements for the Integrated Development of the Territory	
optical and optoelectronic devices and systems	Chausov E.V.	144
	Features of Using Line Test-Objects for Testing Aviation Optical and Electronic Surveillance Systems	
chronicle	The 65th Anniversary of Alexander M. Lugovskoy	158



Определение констант призмённых отражателей для использования их в автоматизированных системах геодезического мониторинга

Н.С. Косарев¹✉, Л.Е. Сердаков², А.А. Шоломицкий¹,
В.С. Крапивин²

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Новосибирск, Россия

² Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской
академии наук, Новосибирск, Россия

✉ kosarevnsk@yandex.ru

цитирование

Косарев Н.С., Сердаков Л.Е., Шоломицкий А.А., Крапивин В.С. Определение констант призмённых отражателей для использования их в автоматизированных системах геодезического мониторинга // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 8–19. DOI:10.30533/GiA-2026-012.

ключевые слова

калибровка, константа призмы, автоматизированная система геодезического мониторинга, компаратор, лазерный трекер, электронный тахеометр

аннотация

В статье представлены результаты экспериментального исследования по определению постоянных (констант) китайских геодезических призм-аналогов, широко используемых в автоматизированных системах геодезического мониторинга в условиях ограниченной доступности оборудования ведущих мировых производителей. Исследования проводились на компараторе Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН с применением высокоточного оборудования: лазерного трекера Leica AT403 и тахеометра Sokkia NET05AXII. Были исследованы две группы призм: 360-градусные мини-призмы (аналоги Leica GRZ101) и деформационные призмы (аналоги Leica GMP104). Для каждой из десяти призм в группе было выполнено 20 измерений. Установлено, что значения постоянных для призм одного типа имеют заметный разброс: от –26,3 до –27,1 мм и от –5,9 до –6,7 мм для аналогов Leica GMP104 и Leica GRZ101 соответственно. Выявлены ключевые факторы, влияющие на точность измерений: изменение оптического пути при неперпендикулярности призмы визирному лучу, несоосность адаптера и призмы, а также воздействие внешних условий. Особенно значительные отклонения обнаружены у 360-градусных призм при их вращении, что связано с изменением оптической длины пути в зависимости от угла падения луча. Сделан вывод о необходимости обязательной индивидуальной калибровки таких призм перед их применением

в высокоточных измерениях. Для обеспечения требуемой точности и повторяемости результатов предлагается создать специализированный метрологический стенд в термостатированном помещении с контролируемыми условиями.

1 Введение

Роботизированные тахеометры относятся к ключевым элементам автоматизированных систем геодезического мониторинга (АСГМ) и используются для мониторинга плотин, оползней, оценки устойчивости туннельных конструкций и других объектов высокой опасности [1–5]. При этом достижимая точность измерений всегда зависит от типа прибора и призмы, а также от атмосферных условий, которые оказывают влияние на распространение электромагнитного сигнала [6–8].

В исследованиях, проведенных зарубежными учеными, показано, что определенные конфигурации и типы призм не подходят для проведения мониторинга [9]. Так, применение 360-градусных призм не рекомендуется, поскольку горизонтальные и вертикальные углы, а также измеренные наклонные расстояния изменяются в зависимости от ориентации призмы, хотя именно этот тип призм используется практически во всех АСГМ. Отклонения могут достигать нескольких миллиметров, что было показано в ходе испытаний в различных исследовательских институтах^{1,2}.

В последние годы производители геодезического оборудования модернизировали некоторые типы призм. Появились также новые роботизированные тахеометры с улучшенными возможностями измерения расстояний и более совершенными системами автоматизированного наведения на цель [10–11]. Однако такие образцы роботизированных тахеометров для АСГМ в настоящее время недоступны в Российской Федерации в связи с зарубежными санкциями. Для проведения мониторинга сейчас можно использовать геодезическое оборудование дружественных стран, в основном китайское. Сюда относятся тахеометры фирм FOIF, South и др. Стоит отметить, что использование данного оборудования без подтверждения его метрологических характеристик недопустимо на объектах критической инфраструктуры РФ. В этой связи сотрудники Сибирского государственного университета геосистем и технологий совместно с коллегами из Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН) регулярно проводят исследования китайских роботизированных тахеометров в различных режимах на базе пространственного эталонного имени О.П. Сучкова для оценки возможности дальнейшего их применения в АСГМ [12].

Как отмечалось выше, точность измерений зависит не только от типа тахеометра, но и от типа призмы. Процесс калибровки призм является ответственной частью для надежной работы АСГМ. Все геодезические призмы известных производителей (Leica, Topcon и др.) проходят производственный контроль. Кроме постоянной призмы, контролируются следующие параметры: смещения оптического центра отражателя от механической оси вращения отражателя; качество изготовления поверхности зеркала и ребер призмы (определение однородности фазы); качество отражающего покрытия призмы. Это далеко не полный перечень производственного контроля на соответствие паспортных характеристик каждой отражательной призмы, что определяет высокую стоимость изделий таких производителей, как Leica, Trimble и др.

1 Favre C., Hennes M. Zum Einfluss der geometrischen Ausrichtung von 360°-Reflektoren bei Messungen mit automatischer Zielerfassung // Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik. 2000. Vol. 2. S. 72–78.

2 Ingensand H. Systematische Einflüsse auf praktische Messungen mit dem Tachymeter und Digitalnivellier // DVW-Schriftenreihe. 2001. Vol. 42. S. 120–137.

В результате калибровки на лабораторных стендах производителя определяется постоянная отражателя (или константа призмы), причем для разного типа призм константа будет изменяться из-за размеров и коэффициента преломления используемого стекла. Величины поправки, наиболее часто встречающиеся в современных отражателях фирмы Leica, имеют широкий диапазон³ и равны 0,0 мм, 17,5 мм, 23,1 мм, 30,0 мм и 34,4 мм. В то же время при использовании призм, которые являются аналогами изделий известных производителей, нет уверенности в том, что постоянная отражателя корректно определена на заводе-изготовителе. В связи с этим встает вопрос об индивидуальных калибровках таких призм.

В данной статье приведены результаты определения на компараторе ИЯФ СО РАН констант 360-градусных мини-призм и деформационных призм, выпускаемых китайскими производителями, с целью возможного применения этих отражателей в АСГМ.

2 Материалы и методы

2.1 Общие сведения о величине постоянной призмы и методах ее определения

Прохождение светового луча электронного дальномера через световозвращающую тетраэдрическую призму (или отражатель) представляет собой сумму измеренного расстояния и постоянных дальномера и отражателя (рис. 1)⁴.

В аналитическом виде измеренное расстояние описывается формулой

$$D = D' + k = D' + (C_I + C_P),$$

где D — исправленное поправками расстояние;

D' — измеренное расстояние;

k — постоянная прибора;

C_I — постоянная дальномера;

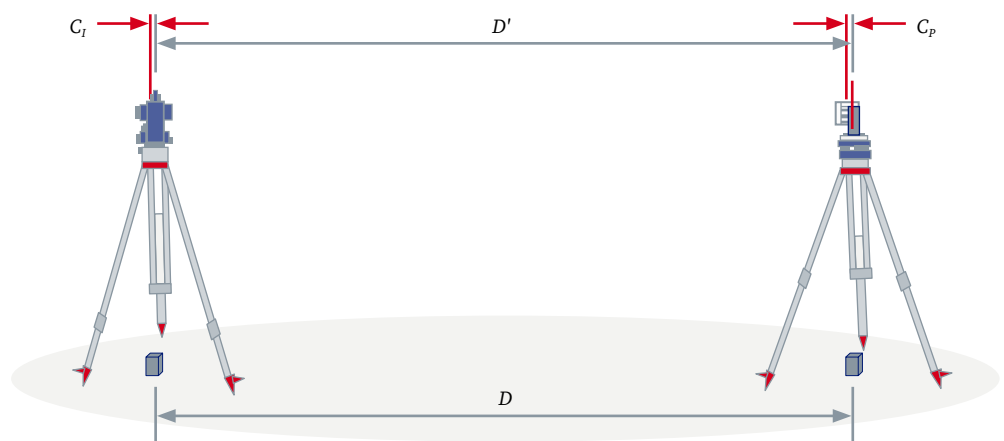
C_P — постоянная отражателя.

Рис. 1 ➔

Геометрия измеренного расстояния

Fig. 1

Geometry of the measured distance



³ Mao J., Nindl D. Surveying Reflectors / Leica Geosystems AG., 2009. 13 p.

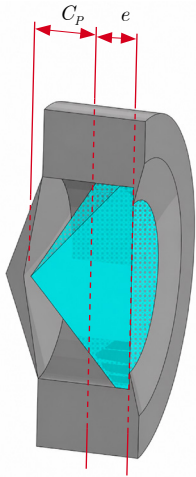
⁴ Electronic Distance: Combined Constant // Open Access Surveying Library. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jerrymahun.com/index.php/home/open-access/44-x-equipment-check-adjustment/165-edm-chap-b-2> (дата обращения: 01.11.2025).

Рис. 2 ▼

Геометрическая интерпретация параметров, представленных в формуле 3

Fig. 2

Geometric interpretation of the parameters presented in formula 3



Призмы в основном изготавливаются из стекла, которое имеет отличный показатель преломления по сравнению с воздухом — средой, где обычно распространяются электромагнитные сигналы. Скорость распространения электромагнитной волны при входе в стеклянное тело замедляется, поэтому фактическое измеряемое расстояние увеличивается. Оптическая длина пути L_{opt} внутри стеклянного тела призмы будет рассчитываться следующим образом:

2 ➔

$$L_{opt} = L_{geom}n,$$

где L_{geom} — геометрическая длина пути внутри тела призмы;
 n — коэффициент преломления стекла.

С учетом оптической длины в призме постоянная призмы определяется так:

3 ➔

$$C_P = e - L_{opt},$$

где e — расстояние от зеркальной поверхности призмы до механической оси вращения призмленного отражателя (рис. 2).

Проверка постоянной призмы может быть выполнена путем измерения эталонных расстояний (базисный способ) либо измерением линии и составляющих ее отрезков (безбазисный способ) [13, 14].

2.2 Методика определения постоянной призмы в помещении компаратора ИЯФ СО РАН

Рис. 3 ▼

Призма типа Leica GRZ101 (фото Л.Е. Сердакова)

Fig. 3

Leica GRZ101-type prism (photo by Leonid E. Serdakov)



Рис. 4 ▼

Призма типа Leica GMP104 (фото Л.Е. Сердакова)

Fig. 4

Leica GMP104-type prism (photo by Leonid E. Serdakov)



Определение постоянных китайских призм (аналогов призм фирмы Leica) проводилось в помещении компаратора ИЯФ СО РАН, который предназначался для проверок струн и мерных лент длиной до 25 м. В настоящее время он включает в себя: интерферометр Hewlett-Packard 5529A; тумбы направляющих с геодезическими знаками на них; каретку отражателя интерферометра [15]. Всего было определено 20 значений постоянных отражателя: 10 значений для 360-градусных мини-призм (конструктивно схожих с Leica GRZ101) и 10 значений для деформационных призм (конструктивно схожих с Leica GMP104). На рис. 3–4 показаны примеры этих призм.

Проверка постоянной призмы выполнялась базисным способом. Эталонные длины были заданы лазерным трекером Leica AT403, а непосредственное определение постоянных призм производилось тахеометром Sokkia NET05AXII. Основные технические характеристики приборов приведены в табл. 1.

Для удобства проведения измерений были выбраны два геодезических знака на расстоянии 11,4 м друг от друга. Знаки представляют собой доработанную конструкцию, предложенную Н.Н. Лебедевым [15]. Втулка центрального дюймового отверстия имеет возможность юстировки для приведения ее верхней поверхности двухосевым уровнем к горизонту (рис. 5).

Базисная линия определялась лазерным трекером Leica AT403 с двух станций: станции между геодезическими знаками P1 и P2 и станции, смещенной за знак P2. В измерениях использовался высокоточный пустотелый сферический отражатель (англ. Red-Ring Reflector, RRR) и дюймовый адаптер.

Таблица 1 ▼

Технические характеристики приборов, участвующих в определении постоянных призм

Table 1

Technical specifications of the instruments used for prism constant determination

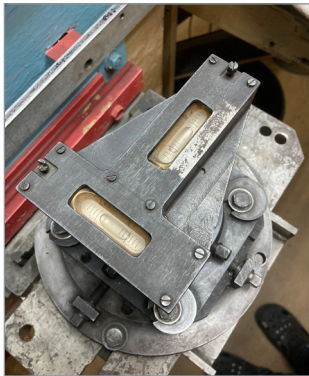
Прибор	Погрешность определения расстояния (отражатель), мм	Погрешность определения углов, сек.
Leica AT403	$0,015 + 0,006 \times L_m$	0,07
Sokkia NET05AXII	$0,8 + 1 \times 10^{-6} \times L_{mm}$	0,50

Рис. 5 ✓

Двухосевой уровень на геодезическом знаке компараторной ИЯФ СО РАН (фото Л.Е. Сердакова)

Fig. 5

Dual-axis level on the geodetic marker of the INP SB RAS comparator (photo by Leonid E. Serdakov)

**Рис. 6** ✓

Конструкция адаптера под призму типа Leica GRZ101 (фото Л.Е. Сердакова)

Fig. 6

Adapter design for Leica GRZ101-type prism (photo by Leonid E. Serdakov)

**Рис. 7** ✓

Конструкция адаптера под призму типа Leica GMP104 (фото Л.Е. Сердакова)

Fig. 7

Adapter design for Leica GMP104-type prism (photo by Leonid E. Serdakov)



Постоянная призмы рассчитывалась на основании измерений тахеометром Sokkia NET05AXII. Для центрирования призмы в геодезическом знаке были изготовлены адаптеры, показанные на рис. 6–7.

Измерения, выполняемые для нахождения постоянной, проводились по 5 раз для каждой стоянки и каждой призмы. Постоянная отражателя рассчитывалась по формуле

4

$$C_P = \frac{D' - B}{2},$$

где D' — измеренное расстояние;
 B — длина базовой линии.

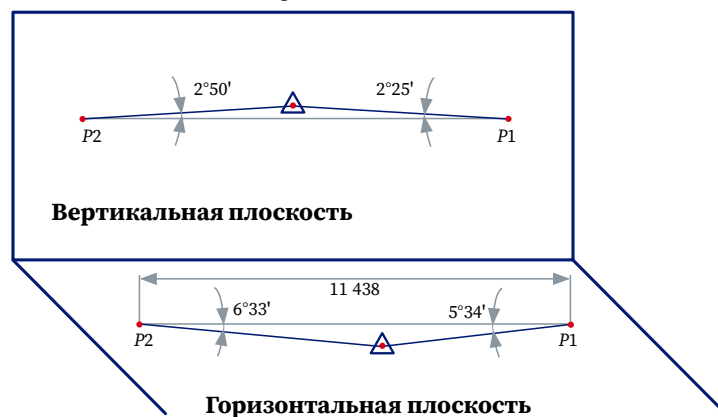
После измерений со станции за базисной линией выполнялась коррекция постоянной для призмы и повторялись измерения между геодезическими знаками с целью проверки. Для призм типа Leica GRZ101 проводились аналогичные измерения, но с оценкой центрирования самой призмы. С этой целью измерялось расстояние в шести разных позициях призмы с углом поворота 60° . На рис. 8–9 показано взаимное расположение геодезических знаков и тахеометра (обозначен треугольником) при проведении процедуры калибровки призм базисным способом.

Рис. 8 ✓

Взаимное расположение геодезических знаков и тахеометра в случае размещения станции между отражателями

Fig. 8

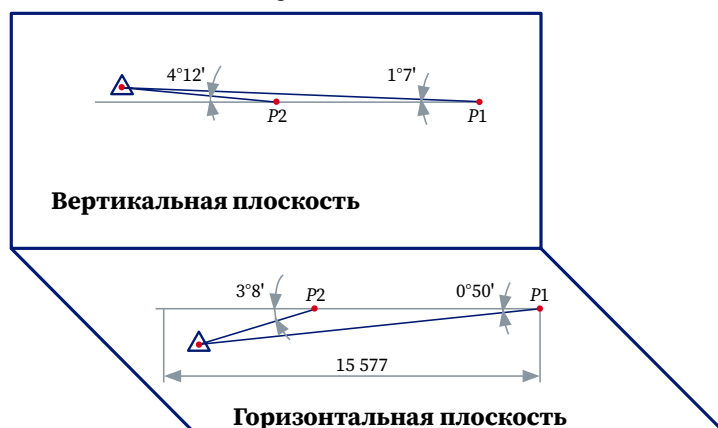
Relative positions of geodetic markers and the total station in the case of the instrument station being located between the reflectors

**Рис. 9** ✓

Взаимное расположение геодезических знаков и тахеометра в случае размещения станции за отражателями

Fig. 9

Relative positions of geodetic markers and the total station in the case of the instrument station being located behind the reflectors



3 Результаты

В табл. 2–3 приведены результаты расчета постоянных призм Leica GMP104 и Leica GRZ101. Призмы типа Leica GMP104 маркированы литерой Р и порядковым номером, а призмы типа Leica GRZ101 — литерой С и порядковым номером. В столбце «Постоянная» указана поправка для каждой призмы, в столбцах «Станция между знаками» и «Станция за знаками» приведена разница между базисной линией, измеренной лазерным трекером, и длиной, измеренной тахеометром Sokkia NET05AXII.

Таблица 2 ➤

Полученные значения постоянной для призм типа Leica GMP104

Table 2

Determined constant values for the Leica GMP104-type prism

Призма	Постоянная, мм	Станция между знаками, мм	Станция за знаками, мм
P01	–26,7	0,006	–0,192
P02	–27,0	0,190	–0,107
P03	–26,7	0,088	–0,289
P04	–26,7	0,174	–0,078
P05	–27,1	–0,207	–0,275
P06	–27,1	0,047	–0,262
P07	–26,3	0,533	–0,149
P08	–26,8	0,515	–0,211
P09	–26,8	0,310	–0,057
P10	–26,8	0,262	–0,208

Таблица 3 ➤

Полученные значения постоянной для призм типа Leica GRZ101

Table 3

Determined constant values for Leica GRZ101-type prisms

Призма	Постоянная, мм	Станция между знаками, мм	Станция за знаками, мм
C01	–6,4	0,061	0,051
C02	–5,9	0,101	–0,139
C03	–6,6	0,130	–0,330
C04	–6,5	–0,380	–0,430
C05	–6,6	0,220	–0,430
C06	–6,7	0,220	0,450
C07	–6,4	0,010	–0,250
C08	–6,6	0,070	0,020
C09	–6,6	–0,110	0,290
C10	–6,7	0,080	–0,250

Данные значения определены методом подбора по многократным измерениям для получения минимальных отклонений относительно базисной линии. Трудоемкость процесса тем не менее не гарантирует оптимальных итоговых значений постоянных призм. Ключевыми факторами, влияющими на результат измерений, являются:

- изменение оптического пути прохождения при неперпендикулярности плоскости стекла призмы визирному лучу прибора;
- несоосность адаптера и призмы, погрешность повторной установки адаптера во втулку гео знака;
- изменение температуры, влажности, наличие пылевой взвеси в воздухе помещения.

На рис. 10 показан график смещения центра призмы типа Leica GRZ101 при повороте адаптера с призмой во втулке геодезического знака с шагом 60°. На графике изменение высотной координаты на каждый поворот призмы вокруг оси можно объяснить изменением оптической длины прохождения сигнала в теле линзы в зависимости от угла, образованного визирным лучом прибора и стеклянной поверхностью 360-градусной призмы.

Рис. 10 ➔

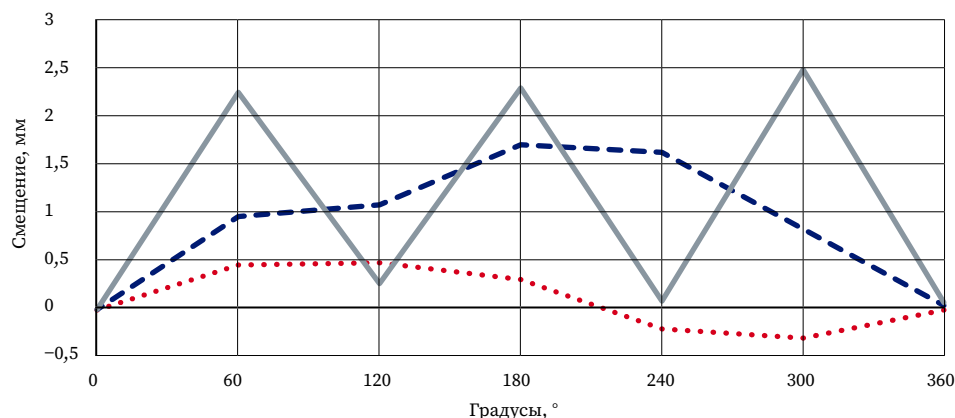
График изменения центра 360-градусной призмы при ее вращении через 60° по часовой стрелке

Fig. 10

Displacement diagram of the 360° prism center during its rotation in 60° clockwise increments

Условные обозначения

- X — продольное смещение
- Y — поперечное горизонтальное смещение
- Z — поперечное вертикальное смещение



4 Обсуждение

На основании проведенных исследований можно сделать заключение о необходимости создания специализированного метрологического стенда, позволяющего калибровать различные виды призм. При этом стенд следует располагать в термостатированном помещении, соответствующем классам 5–6 чистых помещений⁵.

При проведении процедуры калибровки отражателей требуется:

- создать условия для установки призмы и прибора в створном направлении с целью минимизации влияния ошибок при измерениях горизонтальных углов;
- обеспечить по возможности установку призмы и прибора на один и тот же горизонт с целью минимизации влияния ошибок при измерениях вертикальных углов;
- осуществлять контроль перпендикулярности плоскости призмы визирному лучу прибора.

По результатам проведенной калибровки можно сделать следующие выводы:

1. Набор призм типа Leica GMP104 подходит для задач деформационного мониторинга только тогда, когда обеспечивается перпендикулярность призмы визирной оси прибора. В противном случае ошибка измеряемого расстояния может достигать величины 0,7 мм.
2. Набор призм типа Leica GRZ101 возможно использовать для задач деформационного мониторинга, если учитывать ориентировку ее плоскостей к измеряемому прибору. Каждая призма также должна иметь таблицу поправок смещения оси для каждой стеклянной плоскости.
3. Для получения однозначной повторяемости измеренных расстояний с рассматриваемыми типами призм необходимо проводить серию измерений на специализированных метрологических стендах, что позволит оценивать качество любых типов призм и давать рекомендации по возможности их использования в составе АСГМ.

Чтобы обеспечить высокую точность геодезического мониторинга, когда измерения выполняются с двух (или большего количества) точек стояния тахеометра на призму типа Leica GRZ101, критически важно учитывать угловую зависимость постоянной призмы. Хотя величина этой поправки для разных направлений невелика, ее игнорирование приводит к систематическому искажению результатов. В этой связи рекомендуется заранее определить величину поправки для различных углов и хранить ее в базе данных АСГМ с целью автоматического введения в результаты измерений. Кроме того, знание фактической константы призмы будет полезно, если необходимо по какой-либо причине заменить одну призму на другую в АСГМ.

⁵ ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Ч. 1: Классификация чистоты воздуха по концентрации частиц. М.: Стандартинформ, 2017. 29 с.

5 Выводы

По результатам проведенных исследований были определены постоянные (константы) китайских аналогов геодезических призм Leica GRZ101 и GMP104, широко применяемых в АСГМ. Экспериментальные работы, выполненные на компараторе ИЯФ СО РАН с использованием высокоточного оборудования, выявили значительный разброс значений постоянных призм в пределах одной партии: от –26,3 до –27,1 мм для призм типа Leica GMP104; от –5,9 до –6,7 мм для призм типа Leica GRZ101.

Анализ результатов показал, что определяющее влияние на точность измерений оказывает пространственная ориентация призмы относительно визирного луча тахеометра. Для 360-градусных мини-призм дополнительным критическим фактором оказалось смещение оптического центра при вращении, что требует их жесткого крепления на объектах мониторинга.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что использование китайских аналогов призм в высокоточных геодезических измерениях допустимо только после обязательной индивидуальной калибровки и при строгом соблюдении условий эксплуатации. Для обеспечения требуемой точности измерений необходима разработка специализированного метрологического стенда, размещенного в термостатированном помещении с контролируемыми параметрами среды. Реализация предложенных мер позволит обеспечить надежность геодезического мониторинга критически важных объектов Российской Федерации в условиях ограниченной доступности оборудования ведущих зарубежных производителей.

библиография

1. Lienhart W. Geotechnical Monitoring Using Total Stations and Laser Scanners: Critical Aspects and Solutions // *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 2017. Vol. 7. P. 315–324. DOI:10.1007/s13349-017-0228-5.
2. Schulte F., Schneider L., Losler M., et al. Automatic Geodetic Monitoring with Total Stations Based on the Open Source Software Library JAG3D – Case Study of a Rockfall in Trier/Germany // *Proceedings of the 6th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*. Karlsruhe, 2025. P. 1–8. DOI:10.5445/IR/1000179761.
3. Хиллер Б., Ли В.Т., Сухов И.В. Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) на Саяно-Шушенской ГЭС // *Инженерная защита*. 2014. № 4 (4). С. 36–43.
4. Vrce E., Bojić M. Physical, Geodetic Methods and Automatic Monitoring System // *Advanced Technologies, Systems, and Applications VI. IAT 2021*. Cham: Springer, 2022. Vol. 316. P. 532–548. DOI:10.1007/978-3-030-90055-7_42.
5. Ознамец В.В., Наануа Ю.Х. Современные геодезические методы и их интеграция для автоматизированного мониторинга плотины Караун в реальном времени // *Информация и космос*. 2025. № 1. С. 143–150.
6. Вшивкова О.В., Решетило С.Ю. Комбинированный способ учета влияния вертикальной рефракции в электронной тахеометрии // *Геодезия и картография*. 2019. Т. 80, № 11. С. 15–21. DOI:10.22389/0016-7126-2019-953-11-15-21.
7. Vshivkova O.V., Kalugin I.V. Refraction Corrections from Complex Measurements of Atmospheric Parameters for Electronic Tacheometry // *Survey Review*. 2013. Vol. 45. Iss. 328. P. 68–75. DOI:10.1179/1752270612Y.0000000009.
8. Дементьев В.Е., Васютинский И.Ю., Дементьев Д.В. Современное состояние проблемы определения вертикальной рефракции в приземном слое атмосферы // *Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2021. Т. 65, № 1. С. 20–29. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-1-20-29.
9. Lackner S., Lienhart W. Impact of Prism Type and Prism Orientation on the Accuracy of Automated Total Station Measurements // *Proceedings of the 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*. Vienna, 2016. P. 1–8.
10. Шевченко Г.Г., Гура Д.А., Байрачная А.А. Сравнительный анализ функциональных возможностей роботизированных тахеометров и наземных лазерных сканеров при выполнении определенных работ // *Научные труды КубГТУ*. 2017. № 9. С. 36–46.

11. Ehrhart M., Lienhart W. Object Tracking with Robotic Total Stations: Current Technologies and Improvements Based on Image Data // Journal of Applied Geodesy. 2017. Vol. 11. Iss. 3. P. 131–142. DOI:10.1515/jag-2016-0043.
12. Косарев Н.С., Шоломицкий А.А., Ханзадян М.А. и др. Результаты сравнения длин линий на базисе пространственном эталонном СГУГиТ // Геодезия и картография. 2024. № 2. С. 12–20. DOI:10.22389/0016-7126-2024-1004-2-12-20.
13. Ворошилов А.П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра // Геопрофи. 2005. № 4. С. 46–47.
14. Никонов А.В., Чешева И.Н., Лифашина Г.В. К вопросу об определении постоянной поправки дальномера электронного тахеометра // Вестник СГУГиТ. 2015. № 1 (29). С. 54–61.
15. Мурзинцев П.П., Полянский А.В., Буренков Д.Б. и др. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства, эксплуатации и мониторинга ускорительно-накопительных комплексов: монография. Новосибирск: Сибпринт, 2021. 232 с.

авторы **Косарев Николай Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»,
Новосибирск, Россия
кафедра инженерной геодезии и маркшейдерского дела,
Институт геодезии и менеджмента
канд. техн. наук, доцент
 0000-0003-1806-3651

Сердаков Леонид Евгеньевич

 leoserd@yandex.ru
ФГБУН «Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения
Российской академии наук», Новосибирск, Россия
сектор 1-31
канд. техн. наук
 0000-0002-8437-4944

Шоломицкий Андрей Аркадьевич

 sholomitskij@mail.ru
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»,
Новосибирск, Россия
кафедра инженерной геодезии и маркшейдерского дела,
Институт геодезии и менеджмента
д-р техн. наук, профессор
 0000-0002-4543-1096

Крапивин Владимир Сергеевич

 mr.kellivard@gmail.com
ФГБУН «Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения
Российской академии наук», Новосибирск, Россия
сектор 1-31

Поступила 05.11.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Determination of Prism Constant Values for Prism Reflectors Intended for Use in Automated Geodetic Monitoring Systems

**Nikolai S. Kosarev¹✉, Leonid E. Serdakov²,
Andrei A. Sholomitskii¹, Vladimir S. Krapivin²**

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

² Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

✉ kosarevnsk@yandex.ru

citation Kosarev NS, Serdakov LE, Sholomitskii AA, Krapivin VS. Determination of Prism Constant Values for Prism Reflectors Intended for Use in Automated Geodetic Monitoring Systems. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 8–19. DOI:10.30533/GiA-2026-012.

keywords calibration, prism constant, automated geodetic monitoring system, baseline comparator, laser tracker, total station

abstract The paper presents the results of an experimental study to determine the constants of Chinese geodetic prism analogs, which are widely used in automated geodetic monitoring systems under conditions of limited access to equipment from leading global manufacturers. The research was conducted using the comparator at the Institute of Nuclear Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences with high-precision equipment: a Leica AT403 laser tracker and a Sokkia NET05AXII total station. Two groups of prisms were investigated: 360° mini-prisms (analogs of the Leica GRZ101) and deformation prisms (analogs of the Leica GMP104). For each of the ten prisms in a group, 20 measurements were performed. It was established that the constant values for prisms of the same type exhibit significant scatter: from –26.3 mm to –27.1 mm for the Leica GMP104 analogs, and from –5.9 mm to –6.7 mm for the Leica GRZ101 analogs. Key factors affecting measurement accuracy were identified: changes in the optical path due to non-perpendicularity of the prism to the line of sight, misalignment between the adapter and the prism, and the influence of environmental conditions. Particularly significant deviations were found in the 360° prisms during rotation, which is associated with changes in the optical path length depending on the angle of incidence. The study concludes that individual calibration of such prisms is mandatory before their use in high-precision measurements. To ensure the required accuracy and repeatability of results, the authors propose the creation of a specialized metrological test bench in a thermostatically controlled room with regulated environmental conditions.

references

1. Lienhart W. Geotechnical Monitoring Using Total Stations and Laser Scanners: Critical Aspects and Solutions. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 2017;7: 315–324. DOI:10.1007/s13349-017-0228-5.
2. Schulte F, Schneider L, Losler M, et al. Automatic Geodetic Monitoring with Total Stations Based on the Open Source Software Library JAG3D – Case Study of a Rockfall in Trier/Germany. *Proceedings of the 6th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*. Karlsruhe, 2025: 1–8. DOI:10.5445/IR/1000179761.
3. Hiller B, Li VT, Sukhov IV. Avtomatizirovannaya sistema deformatsionnogo monitoringa (ASDM) na Sayano-Shushenskoi GES [Automated Deformation Monitoring System (ASDM) at the Sayano-Shushenskaya HPP]. *Engineering Protection*. 2014;4(4): 36–43. (In Russian).
4. Vrce E, Bojić M. Physical, Geodetic Methods and Automatic Monitoring System. *Advanced Technologies, Systems, and Applications VI. IAT 2021*. Vol. 316. Cham: Springer; 2022: 532–548. DOI:10.1007/978-3-030-90055-7_42.
5. Oznamets VV, Naanua YuKh. Sovremennye geodezicheskie metody i ikh integratsiya dlya avtomatizirovannogo monitoringa plotiny Karaun v real'nom vremeni [Modern Geodetic Methods and Their Integration for Automated Real-Time Monitoring of Qaraun Dam]. *Information and Space*. 2025;1: 143–150. (In Russian).
6. Vshivkova OV, Reshetilo SYu. Kombinirovannyi sposob ucheta vliyaniya vertikal'noi refraktsii v elektronnoi takheometrii [Combined Method for Accounting for the Influence of Vertical Refraction in Electronic Tacheometry]. *Geodesy and Cartography*. 2019;80(11): 15–21. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2019-953-11-15-21.
7. Vshivkova OV, Kalugin IV. Refraction Corrections from Complex Measurements of Atmospheric Parameters for Electronic Tacheometry. *Survey Review*. 2013;45(328): 68–75. DOI:10.1179/1752270612Y.0000000009.
8. Dementiev VE, Vasiutinskii IYu, Dementiev DV. Sovremennoe sostoyanie problemy opredeleniya vertikal'noi refraktsii v prizemnom sloe atmosfery [The Current State of the Problem of Determining the Vertical Refraction in the Surface Layer of the Atmosphere]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2021;65(1): 20–29. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-1-20-29.
9. Lackner S, Lienhart W. Impact of Prism Type and Prism Orientation on the Accuracy of Automated Total Station Measurements. *Proceedings of the 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*. Vienna; 2016: 1–8.
10. Shevchenko GG, Gura DA, Bairachnaya AA. Sravnitel'nyi analiz funktsional'nykh vozmozhnostei robotizirovannykh takheometrov i nazemnykh lazernykh skanerov pri vypolnenii opredelennykh rabot [Comparative Analysis of the Functional Voices of Robotized Tacheometers and Landscape Laser Scanners for the Performance of Determined Works]. *Scientific Works of KubSTU*. 2017;9: 36–46. (In Russian).
11. Ehrhart M, Lienhart W. Object Tracking with Robotic Total Stations: Current Technologies and Improvements Based on Image Data. *Journal of Applied Geodesy*. 2017;11(3): 131–142. DOI:10.1515/jag-2016-0043.
12. Kosarev NS, Sholomitskii AA, Khanzadyan MA, et al. Rezul'taty sravneniya dlin linii na bazise prostranstvennom etalonnom SGUGiT [Line Lengths Comparison Results on the Spatial Reference Basis SGUGiT]. *Geodesy and Cartography*. 2024;85(2): 12–20. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2024-1004-2-12-20.
13. Voroshilov AP. Opredelenie postoyannoi popravki dal'nomera elektronnoho takheometra [Determination of the Constant Correction of an Electronic Total Station's Rangefinder]. *Geoprofi*. 2005;4: 46–47. (In Russian).
14. Nikonov AV, Chesheva IN, Lifashina GV. K voprosu ob opredelenii postoyannoi popravki dal'nomera elektronnoho takheometra [Determination of Total Station Stadia Constant]. *Vestnik SSUGT*. 2015;29(1): 54–61. (In Russian).
15. Murzintsev PP, Polyanskii AV, Burenkov DB, et al. *Geodezicheskoe obespechenie proektirovaniya, stroitel'stva, ekspluatatsii i monitoringa uskoritel'no-nakopitel'nykh kompleksov* [Geodetic Support for the Design, Construction, Operation and Monitoring of Accelerator-Storage Complexes] [monograph]. Novosibirsk: Sibprint; 2021. 232 p. (In Russian).

authors

Nikolay S. Kosarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying,
Institute of Geodesy and Management
PhD in Engineering, Associate Professor

 0000-0003-1806-3651

Leonid E. Serdakov

 leoserd@yandex.ru

Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia
Sector 1-31

PhD in Engineering

 0000-0002-8437-4944

Andrei A. Sholomitskii

 sholomitskij@mail.ru

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying,
Institute of Geodesy and Management
Dr. of Sci. (Engineering), Professor

 0000-0002-4543-1096

Vladimir S. Krapivin

 mr.kellivard@gmail.com

Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia
Sector 1-31

Submitted: November 5, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.



Оценка точности определения расстояний по расходимости лазерного луча в системах геодезического мониторинга

А.В. Мареев¹✉, В.Р. Янгальшев¹, А.В. Макеев¹, Л.А. Каргина¹

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Новосибирск, Россия

✉ a.v.mareev@sgugit.ru

цитирование

Мареев А.В., Янгальшев В.Р., Макеев А.В., Каргина Л.А. Оценка точности определения расстояний по расходимости лазерного луча в системах геодезического мониторинга // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 20–33. DOI:10.30533/GiA-2026-013.

ключевые слова

компьютерное зрение, геодезический мониторинг, створные системы наблюдений, мониторинг лазерного пятна, открытый код, расходимость лазерного пучка

аннотация

Представлена оценка применимости алгоритмов и программ технического зрения в системах наблюдений геодезического мониторинга. Рассмотрена методика определения линейных смещений по эффекту расходимости лазерного луча при формировании измерительного узла автоматизированной системы наблюдений. Измерительный узел включает полупроводниковый лазер, микроконтроллерный модуль ESP32-CAM с цифровой видеокамерой OV2640 и матовый экран. Экспериментально подтверждена возможность определения изменений расстояния между источником лазерного излучения и экраном с ошибкой 2 мм в диапазоне от 30 до 50 м. Обработка видеоизображений осуществляется с использованием открытого программного обеспечения, реализующего алгоритмы обнаружения и анализа положения лазерного пятна на матрице камеры. Представлены экспериментальные данные, полученные в контролируемых условиях, предназначенные для верификации и усовершенствования алгоритмов технического зрения. Разработанное решение обеспечивает непрерывный режим регистрации смещений и может применяться в составе системы мониторинга деформаций инженерных сооружений. Использование малобюджетных компонентов и открытого программного обеспечения делает систему доступной для широкого внедрения. Результаты исследования направлены на повышение точности и автономности систем геодезического мониторинга. Предложенная архитектура измерительного узла позволяет исключить применение импульсного дальномера при определении полного вектора смещений,

что снижает стоимость и энергопотребление системы. Методика может быть востребована в условиях удаленных территорий, где затруднен регулярный доступ к объектам наблюдения.

1 Введение

Для зданий и сооружений, эксплуатируемых длительное время, потребность в системах для геодезического мониторинга в режиме реального времени постоянно повышается по мере роста геотехнических и геодинамических рисков, которые увеличиваются вследствие накопления физического износа в эксплуатируемых жилых и промышленных зданиях. Дополнительным фактором риска для сооружений в регионах Крайнего Севера является также таяние многолетнемерзлых грунтов [1].

Одним из основных препятствий развития автоматизированных систем наблюдения для геодезического мониторинга является высокая стоимость технических средств измерений. В настоящее время профессиональное сообщество прикладывает значительные усилия к повышению доступности подобных систем. Для решения ряда задач геодезического мониторинга уже достаточно эффективно применяются: малобюджетное оборудование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) [2], фотограмметрические системы мониторинга с использованием постоянно закрепленных фотокамер [3], системы наблюдений, основанные на задании направления с помощью опорного лазерного луча и регистрации изображения в контролируемой точке с использованием алгоритмов технического зрения [4–7]. Несмотря на принимаемые меры, одним из основных и стабильных способов для выполнения геодезического мониторинга остается высокоточное геометрическое нивелирование. Отметим при этом, что основные недостатки способа — низкая оперативность получения измерительной информации в силу того, что данная операция часто выполняется вручную, а также высокая стоимость работ на объектах, удаленных от развитых агломераций, включая территории Крайнего Севера.

Наиболее востребованным автоматизированным средством для систем геодезического мониторинга является роботизированный тахеометр. Он обеспечивает баланс между точностью и оперативностью измерений, а также информативностью за счет возможности отслеживания множества контрольных точек в поле зрения прибора. Наличие метрической камеры позволяет реализовывать сложные системы наблюдений с использованием алгоритмов компьютерного зрения и расширять за счет этого функциональные возможности прибора [8, 9]. Однако действующие системы мониторинга на базе роботизированного тахеометра отличаются высокой стоимостью и ограничены по диапазону рабочих температур.

Альтернативой роботизированному тахеометру может служить система для наблюдений, использующая в качестве опорного направления лазерный луч в колокации с высокоточным цифровым инклинометром. Примером подобного устройства является прибор LaserTilt90¹, в котором объединены импульсный дальномер и цифровой МЭМС-инклинометр (МЭМС — микроэлектромеханические системы). Прибор позволяет определять длину горизонтального проложения линии с погрешностью до 4 мм на расстоянии до 50 м в лабораторных условиях. При помощи аналогичных по конструкции приборов можно определять вертикальные смещения с миллиметровой погрешностью [10]. Основным недостатком систем наблюдений в данных приборах заключается в невозможности определения полного вектора смещений контролируемой точки, в отличие от известных решений на основе роботизированного тахеометра или ГНСС-приемника.

1 Loadsensing Wireless Laser Tiltmeter // Specto Technology. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.spectotechnology.com/product/loadsensing-wireless-laser-tiltmeter/> (дата обращения: 01.10.2025).

Определение полного вектора смещения на контролируемой точке с использованием лазерного луча в качестве опорного направления (в горизонтальном направлении — поперек опорного направления и вдоль него) возможно с помощью системы наблюдения на основе компьютерного зрения. Измерительный узел такой системы включает два устройства: задающее, устанавливаемое на опорной точке, и регистрирующее, располагаемое на реперной (контролируемой) точке. Задающее устройство содержит источник коллимированного лазерного излучения и цифровой высокоточный инклинометр. Регистрирующее устройство на реперной точке состоит из матового экрана и модуля с цифровой видеокамерой, закрепленной над экраном. Камера калибруется и устанавливается вблизи от экрана на расстоянии не более 10 см [11]. Такая система регистрации обеспечивает отслеживание перемещения лазерного пятна поперек заданного опорного направления с точностью в несколько миллиметров на базах до 100 м. При помощи камер и трекинга пятна на наклонном экране можно также определять колебания конструкций, имеющих частоту до 3,5 Гц с погрешностью до 7 % [12]. Для определения полного вектора смещения систему необходимо дополнить лишь средством измерения расстояний. Наиболее простым решением видится интеграция импульсного дальномера, позволяющего измерять расстояния с ошибкой порядка 1 мм. Однако совмещение подобных устройств в единый узел на практике труднодостижимо, поскольку для осуществления высокоточного трекинга лазерного луча по экрану необходимы технические средства, с одной стороны, усиливающие контрастность лазерного пятна, с другой — снижающие влияние внешних условий, в особенности внешнего освещения. В разрабатываемой конструкции применяются экраны с низким коэффициентом отражения, а также светофильтры, устанавливаемые на входные окна перед экраном и на камеру, что препятствует работе импульсного дальномера и ограничивает его рабочий диапазон.

Одним из вариантов реализации автоматизированных систем геодезического мониторинга с использованием лазерного луча в качестве опорного направления является модернизация системы наблюдений компьютерного зрения с помощью программ определения расстояний по расходимости лазерного луча [13, 14]. Гипотеза исследования в этом случае состоит в том, чтобы путем отслеживания формы и перемещения лазерного пятна с применением технических средств компьютерного зрения устанавливать изменения расстояний с достаточной точностью для определения полного вектора смещений на контролируемой точке. В этом случае отпадает необходимость в применении импульсного дальномера.

2 Материалы и методы

2.1 Методика исследования

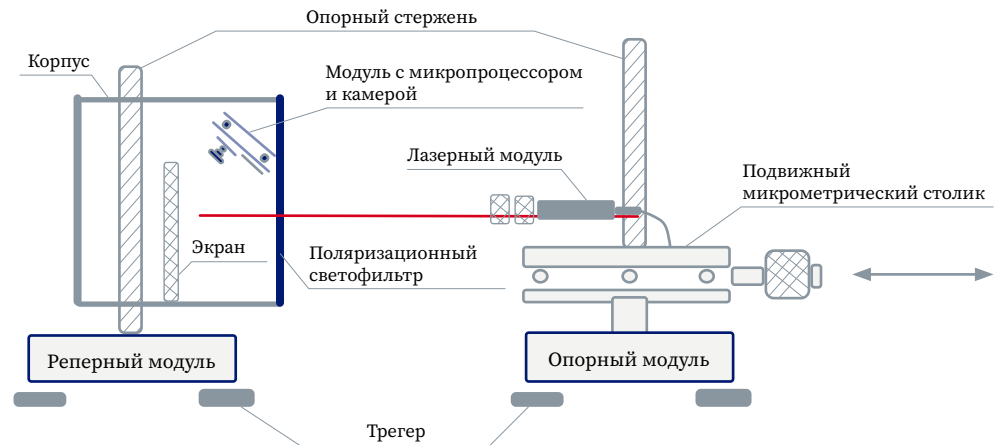
Методика исследования основана на оценке точности результатов измерения расстояний на базе прототипа измерительного модуля (задающее и регистрирующее устройства) для систем геодезического мониторинга с использованием лазерного луча в качестве опорного направления и устройства, предназначенного для определения изменений расстояния с использованием средств технического зрения. Задающее устройство содержит полупроводниковый источник лазерного излучения с коллиматором и устанавливается на опорной точке, а регистрирующее устройство включает экран с модулем цифровой видеокамеры и размещается на контролируемой точке (рис. 1). Камера фиксируется на расстоянии не более 10 см от экрана и оснащается дополнительными элементами с целью повышения качества отслеживания положения лазерного пятна, включая светофильтры. Для контроля результатов изменений расстояния

Рис. 1

Условная схема расположения основных элементов экспериментальной установки

Fig. 1

Schematic diagram of the arrangement of the main elements of the experimental setup



применяется подвижный столик с микрометрическим винтом с чувствительностью к смещениям в продольном направлении плоскости 0,01 мм.

Исходными данными для проведения исследования являются видеозаписи смещений лазерного пучка, регистрируемые на реперном модуле. Оценка точности выполняется по временным рядам значений смещений, определенных по изменению формы и положения лазерного пятна с помощью алгоритмов технического зрения, а также по временным рядам эталонных смещений, задаваемых посредством подвижного столика с микрометрическим винтом.

Основными показателями для оценки точности результатов исследований являются средняя ошибка и среднеквадратическая ошибка (СКО) величины смещений:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^k |\Delta L_i - \Delta \hat{L}_i|}{k},$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\Delta L_i - \Delta \hat{L}_i)^2},$$

где k — количество моментов наблюдений во временном ряду;

ΔL_i — эталонное смещение на момент наблюдения i ;

$\Delta \hat{L}_i$ — оценка величины смещения, полученная с помощью алгоритмов технического зрения.

Оценка величины $\Delta \hat{L}_i$ выполняется по регрессионной модели:

$$\alpha \bar{X}_i + \beta \bar{Y}_i + \gamma \Delta L_i^S = \Delta \hat{L}_i,$$

$$\text{где } \bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^m x_j}{m},$$

$\bar{Y}_i = \frac{\sum_{j=1}^m y_j}{m}$ — координаты центра масс контура лазерного пятна на экране, при этом m — количество точек контура, x_j , y_j — координаты контура лазерного пятна, калиброванные за влияние дисторсии камеры;

ΔL_i^S — составляющая изменения величины смещения, связанная с изменением площади проекции лазерного пучка на экран;

α , β , γ — калибровочные коэффициенты, определяемые методом множественной линейной регрессии (МЛР).

Величина ΔL_i^S оценивается по изменению площади коллимированного лазерного пучка на экране. Расстояние между источником излучения и экраном L , диаметр пучка D и угол расходимости θ связаны следующим соотношением²:

$$L = \frac{(D - D_c)}{2\theta},$$

где D_c — диаметр области когерентности лазерного пучка.

2 Губарев Ф.А. Измерение параметров лазерного излучения: методические указания. Томск: ТПУ, 2017. 7 с.

Разложение в ряд Тейлора (6) с эквивалентной заменой диаметра пучка на его площадь позволяет получить формулу для расчета изменения расстояния ΔL_i^S от изменения площади лазерного пятна на экране

7 ➤

$$\Delta S_i = S_i - S_0,$$

8 ➤

$$\Delta L_i^S = \frac{\Delta S_i}{2\theta_0} \sqrt{\frac{\pi}{S_0}},$$

9 ➤

$$\theta_0 = \frac{\sqrt{\frac{S_0}{\pi} - D_c}}{L_0},$$

где S_0 — начальное значение площади пятна;

L_0 — начальное расстояние между источником и экраном.

Для приближительных расчетов можно использовать в качестве D_c величину диаметра выходного отверстия коллиматора.

В идеальном измерительном узле форма лазерного пучка должна соответствовать кривой второго порядка. Однако на практике контур пучка искажается вследствие дефектов оптической системы, поэтому использование уравнения кривой второго порядка в качестве опорной модели приведет к неустойчивости решения при наличии выбросов.

Коэффициенты модели α, β в выражении (3) стремятся к нулю при строго перпендикулярном направлении лазерного луча к плоскости экрана. Достижение такого положения на практике затруднено, при этом обнуление коэффициентов потенциально позволяет исключить калибровку системы при ее инициализации, что упрощает технологию слежения. Однако реализация данного условия требует высокоточной механической подстройки положения экрана, что увеличивает себестоимость измерительного устройства.

Площадь лазерного пятна вычислялась двумя способами. Первый способ основан на формуле Гаусса для расчета площади многоугольника:

10 ➤

$$S_i^G = \frac{1}{2} \left| \sum_{j=1}^{m-1} x_j y_{j+1} + x_m y_1 - \sum_{j=1}^{m-1} x_{j+1} y_j - x_1 y_{m-1} \right|.$$

Второй способ предполагает численное интегрирование под кривой, полученной методом сплайн-интерполяции. В качестве аппроксимирующей функции использовался полином фиксированной степени n :

11 ➤

$$S_i^S = \sum_{s=1}^l F(P_n(x((s-1)\frac{360}{l}))) - F(P_n(x(s\frac{360}{l}))),$$

где l — количество фрагментов сплайна;

$\frac{x_i}{(s-1)\frac{360}{k}/s\frac{360}{k}}$ — угловые границы фрагмента сплайна, определяемые направлением вектора текущей точки $r_j(x_j, y_j)$ к оси OX ;

s — индекс текущего фрагмента сплайна;

$P_n(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_nx^n$ — полином степени n .

Количество фрагментов сплайна k и степень полинома n оценивались эмпирически.

Коэффициенты полинома вычислялись методом множественной линейной регрессии для каждого момента наблюдения i :

12 ➤

$$[c_0, c_1, c_2, \dots, c_n]_i = (\mathbf{A}_i^T \mathbf{A}_i)^{-1} \mathbf{A}_i^T \mathbf{y}_i$$

13 ➤

$$\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^n \\ 1 & x_j & x_j^2 & \dots & x_j^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_m & x_m^2 & \dots & x_m^n \end{bmatrix},$$

14 ➤

$$\mathbf{y}_i = [y_0, y_1, \dots, y_m]_i.$$

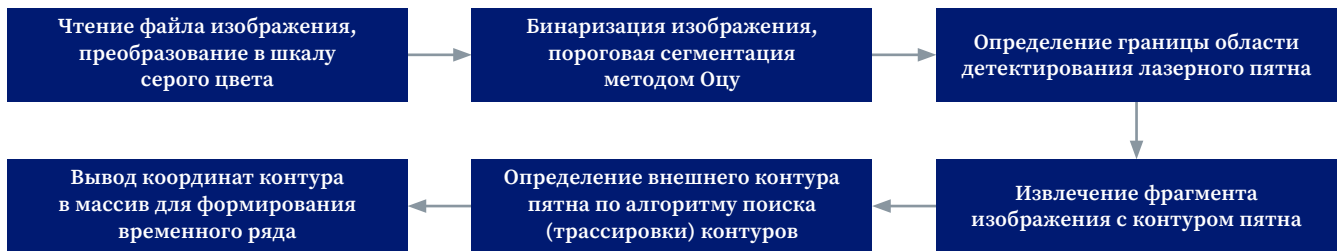
Координаты контура лазерного пучка определялись с использованием стандартных функций библиотеки OpenCV. Алгоритм выделения контуров представлен на UML-диаграмме (англ. Unified Modeling Language — унифицированный язык моделирования) (рис. 2).

Рис. 2 

UML-диаграмма алгоритма определения координат контура лазерного пучка на экране регистрирующего устройства

Fig. 2

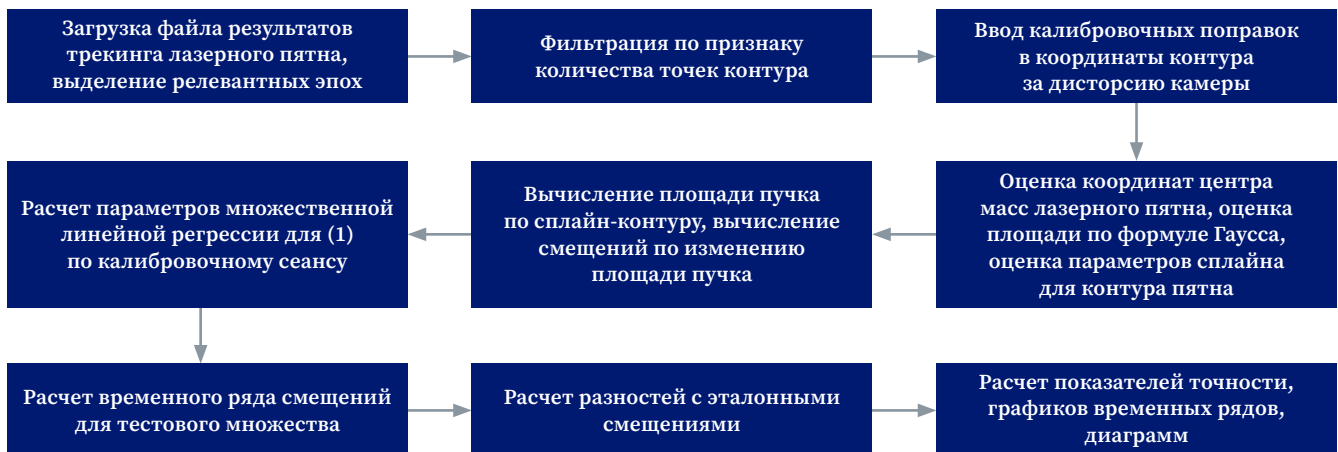
UML diagram of the algorithm for determining the coordinates of the laser beam contour on the reference module's screen

**Рис. 3** 

UML-диаграмма действий при обработке результатов эксперимента

Fig. 3

UML activity diagram for processing experimental results



Порядок проведения расчетов в процессе экспериментального исследования представлен на рис. 3. Исходные данные, включая видеозаписи, а также файлы распознавания движений доступны на платформе Open Science Framework³. Все расчетные процедуры реализованы в виде файлов типа Jupyter Notebook и размещены в веб-сервисе GitHub⁴.

2.2 Экспериментальная установка

Экспериментальная установка (рис. 4) включает следующие элементы:

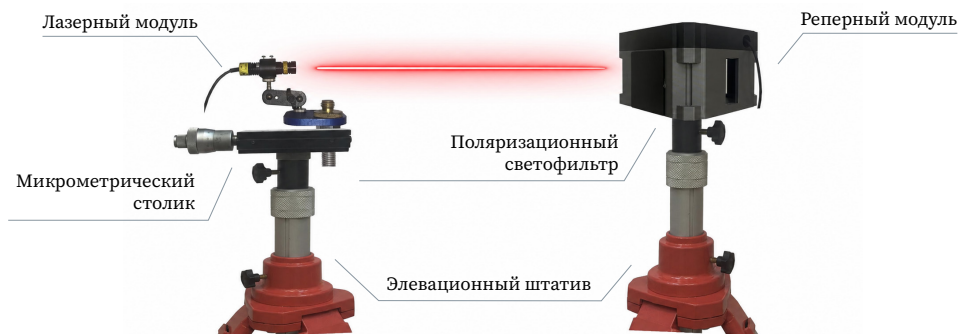
- элевационные штативы RGK SH-170, один из которых предназначен для закрепления полупроводникового лазера, а второй — для установки модуля с экраном и камерой;
- полупроводниковый лазерный модуль (длина волны 650 нм, мощность 50 мВт, габариты 16 × 68 мм) с возможностью фокусировки;
- подвижной столик с микрометрическим винтом (цена деления 0,01 мм, диапазон для фиксирования заданных смещений от 0 до 20 мм);
- матовый пластиковый экран, закрепленный на втором штативе;

³ Files // Open Science Framework. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://osf.io/xcwud/files/osfstorage> (дата обращения: 28.09.2025).

⁴ Программный код // GitHub Gist. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gist.github.com/ArtemMareev/1b2d9cc2b3631638e1cc19867b5cce72> (дата обращения: 28.09.2025).

- цифровая видеокамера, установленная на расстоянии 7 см от экрана и выполненная в виде модуля ESP32-CAM с камерой OV2640 разрешением 1600×1200 точек (2 Мп);
- поляризационный светофильтр, размещенный на входном окне реперного модуля;
- цифровой тахеометр EFT M1 (угловая точность 2", ошибка дальномера 3 мм в безотражательном режиме);
- лазерный импульсный дальномер Bosch PLR 50 C с паспортной ошибкой 2 мм и предельной дальностью 50 м, используемый в качестве референтного малобюджетного дальномера.

Рис. 4 
Экспериментальная установка
Fig. 4
The experimental setup



2.3 Эксперимент

Эксперимент включал три серии измерений, в каждой из которых проводились два сеанса — калибровочный и тестовый. В каждой серии устанавливалось фиксированное расстояние между опорной и контролируемой точками: 15, 30 и 50 м. За сеанс выполнялось 20 эталонных смещений в горизонтальной плоскости по направлению к экрану с шагом 1 мм с использованием столика с микрометрическим винтом.

Перед началом каждого сеанса измерялось начальное расстояние между экраном и лазерным модулем с помощью цифрового тахеометра. Каждое эталонное смещение фиксировалось вручную в цифровом журнале с применением программы «ВИМ-менеджер» [15]. Частота записи видеоданных модулем ESP32-CAM составляла 1 Гц. На одно смещение приходилось около 20 наблюдений. Общее количество моментов наблюдений в каждой сессии составляло порядка 400.

3 Результаты и обсуждение

В результате эксперимента установлено, что точность определения изменений расстояния с помощью технического зрения при использовании измерительного узла, включающего полупроводниковый лазер и модуль ESP32-CAM с цифровой камерой, составляет 2 мм в диапазоне от 30 до 50 м (табл. 1, 2, рис. 5). Для сравнения: лазерный импульсный дальномер Bosch PLR-50 C обеспечивает ошибку измерения расстояния 2 мм на дистанции до 50 м, однако только при использовании специальных светоотражающих мишеней.

На дистанциях до 15–20 м применение этого метода оказалось нецелесообразно вследствие снижения точности определения смещений до 5 мм (рис. 6). Указанный результат обусловлен длиной участка когерентности излучения используемого лазерного модуля, который составляет порядка 20 м. В пределах этой зоны расходимость лазерного пучка недостаточна для достоверного детектирования изменения площади пятна на экране с применением используемой системы регистрации. В связи с этим для диапазона до 20 м в качестве источника излучения рекомендуется использовать импульсный дальномер.

Таблица 1 ➤

Результаты оценки точности определения расстояний при помощи алгоритмов компьютерного зрения с использованием лазерного луча в качестве опорного направления (тестовые сеансы)

Table 1

Results of accuracy evaluation for distance estimation using computer vision algorithms with a laser beam as a reference direction (test sessions)

Способ определения расстояний	Расстояние между модулями					
	50 м		30 м		15 м	
	Средняя ошибка, мм	СКО, мм	Средняя ошибка, мм	СКО, мм	Средняя ошибка, мм	СКО, мм
МЛР (Гаусс)	0,1	2,3	2,1	2,1	3,9	3,1
МЛР (сплайн)	0,8	2,6	1,7	2,1	3,8	3,1
Площадь по Гауссу	4,3	2,1	16,2	8,3	9,2	5,8

Таблица 2 ➤

Результаты оценки точности калибровки системы слежения за изменением расстояния при помощи алгоритмов компьютерного зрения с использованием лазерного луча в качестве опорного направления

Table 2

Results of calibration accuracy evaluation for a distance-change tracking system using computer vision algorithms with a laser beam as a reference direction

Способ определения расстояний	Расстояние между модулями					
	50 м		30 м		15 м	
	Средняя ошибка, мм	СКО, мм	Средняя ошибка, мм	СКО, мм	Средняя ошибка, мм	СКО, мм
МЛР (Гаусс)	0,0	2,3	0,0	1,9	0,0	2,4
МЛР (сплайн)	0,0	2,4	0,0	1,8	0,0	2,4
Площадь по Гауссу	1,9	3,0	15,0	9,3	11,0	4,5

Рис. 5 ➤

Графики временных рядов отслеживания изменения расстояния с помощью алгоритмов компьютерного зрения с использованием лазерного луча в качестве опорного направления при расстоянии между модулями 50, 30 и 15 м

Fig. 5

Time series plots of distance change tracking using computer vision algorithms on a reference laser beam at module separation distances 50, 30, 15 m

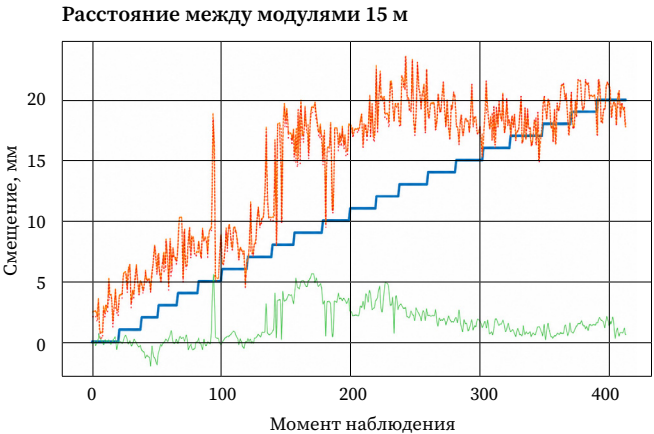
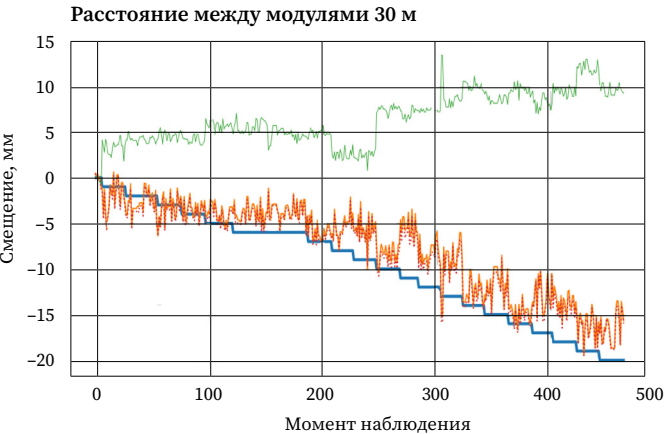
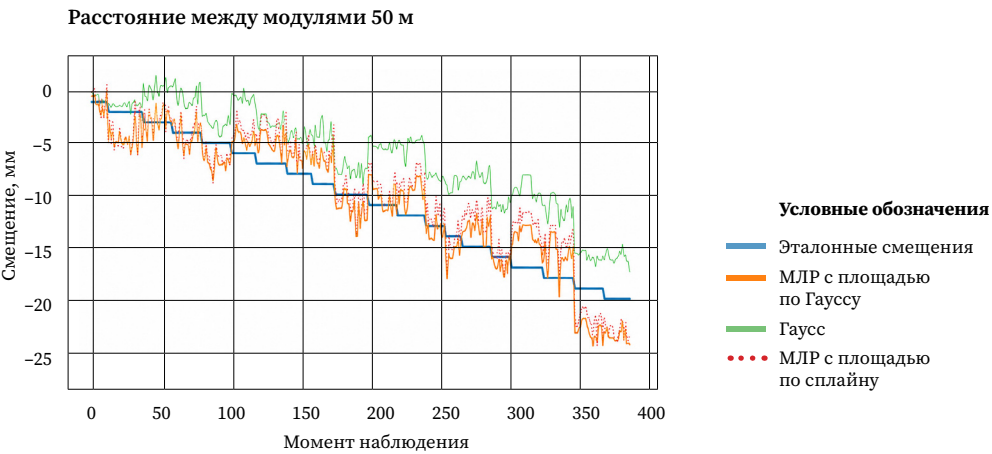
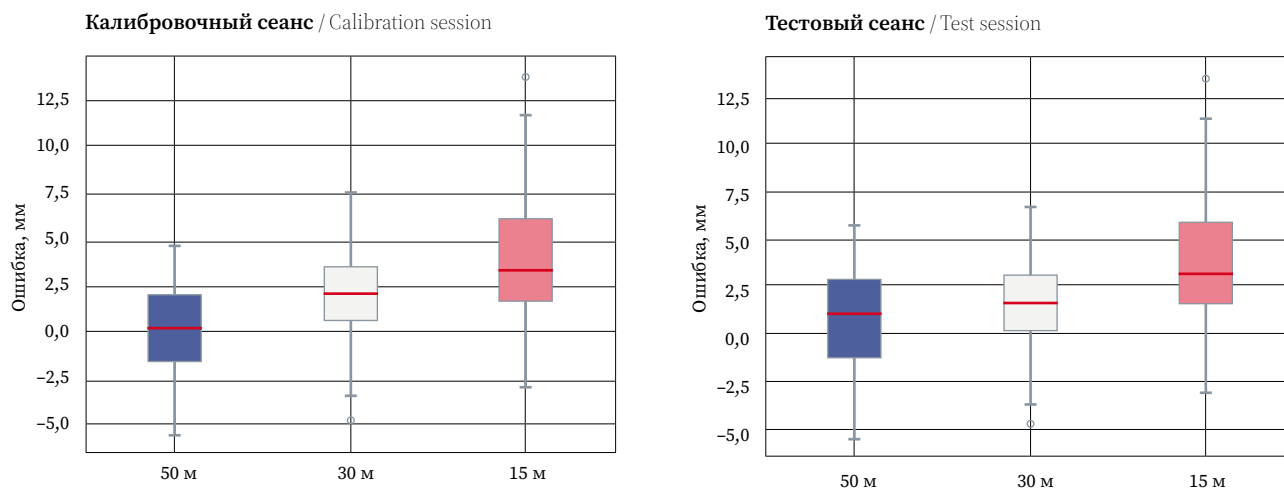


Рис. 6 

Блочная диаграмма ошибок определения изменения расстояний при помощи технологии компьютерного зрения с использованием лазерного луча в качестве опорного направления

Fig. 6

Block diagram of distance change estimation errors using computer vision technology on a reference laser beam



Использование промышленного импульсного дальномера в качестве источника излучения в измерительном узле возможно только на дистанциях до 15 м. На больших расстояниях дальномер не формирует устойчивого сигнала, либо требуется внесение конструктивных изменений в узел для обеспечения его работоспособности.

Исследования показали, что наивысшая точность измерения расстояний по площади лазерного пятна достигается при использовании сплайн-интерполяции с числом сегментов 2 и степенью полинома 3. Применение робастных алгоритмов оценки параметров полиномов из библиотеки `scikit-learn` не привело к повышению точности по сравнению с линейной регрессией.

Анализ временных рядов разностей между эталонными и оцененными смещениями выявил наличие остаточных систематических составляющих ошибки. Это указывает на недостаточную полноту учета влияющих факторов. Потенциально точность возможно повысить за счет применения сглаживающих функций, устойчивых к выбросам и оптимизации модели интерполяции.

Дальнейшее увеличение предельной дистанции при измерении расстояний по расходимости лазерного пучка возможно при модификации регистрирующего модуля. Дистанция 50 м является практически предельной для используемого оборудования: на этом расстоянии лазерное пятно остается в пределах экрана и обеспечивается достаточный запас для измерения смещений пятна в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

4 Выводы

Экспериментально установлено, что точность определения расстояния по изменению формы и положения лазерного пятна с использованием средств технического зрения составляет ± 2 мм в диапазоне до 50 м. Полученное значение сопоставимо с ошибкой прибора Trimble LaserTilt90: ± 4 мм на той же дистанции. Предложенный метод позволяет в перспективе реализовать определение полного вектора смещений на контролируемой точке с помощью предложенной измерительной системы с использованием лазерного луча в качестве опорного направления и средств технического зрения. Такое решение может быть

применено в системах геодезического мониторинга, где требуется контроль для ограниченного числа точек.

Целесообразность внедрения подобных систем геодезического мониторинга возрастает для зданий и сооружений, подверженных риску нарушения структурной целостности, а также для объектов, расположенных в удаленных районах, где регулярный доступ геодезистов затруднен. Для практического внедрения измерительных систем с использованием лазерного луча в качестве опорного направления и средств технического зрения требуются дополнительные исследования устойчивости к внешним воздействиям. Процедура калибровки по расстояниям может быть автоматизирована и выполняться с заданной периодичностью. В межкалибровочный период коэффициенты модели принимаются постоянными. Автоматизация калибровки возможна с применением алгоритмов технического зрения и подвижного экрана, формирующего эталонное смещение.

благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания НИР «Автоматический геодезический мониторинг природной среды и инженерных сооружений средствами малобюджетных высокоточных датчиков вертикальных перемещений в условиях Крайнего Севера» (FEFS-2023-0003).

библиография

1. Melnikov V.P., Osipov V.I., Brouchkov A.V., et al. Climate Warming and Permafrost Thaw in the Russian Arctic: Potential Economic Impacts on Public Infrastructure by 2050 // *Natural Hazards*. 2022. Vol. 112. P. 231–251. DOI:10.1007/s11069-021-05179-6.
2. Curone D., Savarese G., Antonini M., et al. An Innovative Low-Power, Low-Cost, Multi-Constellation Geodetic-Grade Global Navigation Satellite System Reference Station for the Densification of Permanent Networks: The GREAT Project // *Sensors*. 2023. Vol. 23. Iss. 13. P. 6032. DOI:10.3390/s23136032.
3. Blanch X., Guinau M., Eltner A., et al. Fixed Photogrammetric Systems for Natural Hazard Monitoring with High Spatio-Temporal Resolution // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2023. Vol. 23. Iss. 10. P. 3285–3303. DOI:10.5194/nhess-23-3285-2023.
4. Zhuang Y., Chen W., Jin T., et al. A Review of Computer Vision-Based Structural Deformation Monitoring in Field Environments // *Sensors*. 2022. Vol. 22. Iss. 10. P. 3789. DOI:10.3390/s22103789.
5. Ferraris C., Amprimo G., Pettiti G. Computer Vision and Image Processing in Structural Health Monitoring: Overview of Recent Applications // *Signals*. 2023. Vol. 4. Iss. 3. P. 539–574. DOI:10.3390/signals4030029.
6. Авхадеев В.Г., Можаров Г.А., Савостин П.И. и др. Лазерная измерительная сканирующая система для определения критических деформаций линейных объектов // *Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2019. Т. 63, № 6. С. 636–644. DOI:10.30533/0536-101X-2019-63-6-636-644.
7. Cao J., Chen Y., Yu D., et al. Real-Time Laser Spot Detection and Tracking System Based on Parallel Multi-Target Detection and Determination Algorithm // *Review of Scientific Instruments*. 2023. Vol. 94. P. 095007. DOI:10.1063/5.0157141.
8. Zhou Y., Wagner A., Wunderlich T., et al. Calibration Method for IATS and Application in Multi-Target Monitoring Using Coded Targets // *Journal of Applied Geodesy*. 2017. Vol. 11. Iss. 2. P. 99–106. DOI:10.1515/jag-2016-0021.
9. Zschiesche K., Schlüter M. Classification and Object Detection with Image Assisted Total Station and Machine Learning // *Journal of Applied Geodesy*. 2023. Vol. 17. Iss. 4. P. 381–389. DOI:10.1515/jag-2023-0011.
10. Wierzbicki S., Pióro Z., Osiniak M. Laser-Inclinometric Method for Displacement Measurements in Structural Health Monitoring // *Archives of Civil Engineering*. 2022. Vol. 68. Iss. 4. P. 607–616. DOI:10.24425/ace.2022.143057.
11. Vicente M., Gonzalez D., Minguez J., et al. A Novel Laser and Video-Based Displacement Transducer to Monitor Bridge Deflections // *Sensors*. 2018. Vol. 18. Iss. 4. P. 970. DOI:10.3390/s18040970.
12. Zhao X., Liu H., Yu Y., et al. Bridge Displacement Monitoring Method Based on Laser Projection-Sensing Technology // *Sensors*. 2015. Vol. 15. Iss. 4. P. 8444–8463. DOI:10.3390/s150408444.

13. Portugal-Zambrano C.E., Mena-Chalco J.P. Robust Range Finder Through a Laser Pointer and a Webcam // Electronic Notes in Theoretical Computer Science. 2011. Vol. 281. P. 143–157. DOI:10.1016/j.entcs.2011.11.031.
14. Сорокин М.И. Лазерный дальномер и 2D сканирование помещения // Аллея Науки. 2017. Т. 2, № 9. С. 877–888.
15. Янгальшев В.Р., Попков М.А., Наумов В.Ю. Программа для калибровки малобюджетных высокоточных цифровых видеоинклинометров // Нефть и газ: технологии и инновации: материалы Международной научно-практической конференции. Тюмень: ТИУ, 2024. С. 182–186.

авторы **Мареев Артем Владимирович**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра космической и физической геодезии, Институт геодезии и менеджмента
канд. техн. наук
 0000-0002-1216-5350

Янгальшев Валентин Рамильевич

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра космической и физической геодезии, Институт геодезии и менеджмента

Макеев Александр Викторович

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра специальных устройств, инноватики и метрологии,
Институт оптики и технологий информационной безопасности

Каргина Лидия Александровна

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра космической и физической геодезии, Институт геодезии и менеджмента

Поступила 02.10.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Distance Estimation Based on Laser Beam Divergence in Geodetic Monitoring Systems

**Artem V. Mareev¹✉, Valentine R. Yangalishev¹,
Alexandr V. Makeev¹, Lidia A. Kargina¹**

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
✉ a.v.mareev@sgugit.ru

citation Mareev AV, Yangalishev VR, Makeev AV, Kargina LA. Distance Estimation Based on Laser Beam Divergence in Geodetic Monitoring Systems. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 20–33. DOI:10.30533/GiA-2026-013.

keywords computer vision, geodetic monitoring, alignment monitoring systems, laser spot tracking, open source, laser beam divergence

abstract An assessment is presented of the applicability of computer vision algorithms and software in observation systems for continuously operating geodetic monitoring. A method for determining linear displacements based on the divergence effect of a laser beam is considered, implemented within a measurement unit comprising a semiconductor laser, an ESP32-CAM microcontroller module with an OV2640 digital camera, and a matte screen. Experimental results confirm the capability to estimate distance variations between the laser source and the screen with an error of 2 mm over a range of 30 to 50 m. Video processing is performed using open-source software designed to detect and analyze the position of the laser spot on the camera matrix. Experimental data obtained under controlled conditions are provided for the verification and refinement of technical vision algorithms. The proposed solution enables continuous displacement monitoring and can be integrated into structural deformation monitoring systems. The use of low-cost components and open software enhances the system's accessibility for widespread deployment. The results contribute to improving the accuracy and autonomy of geodetic monitoring systems.

acknowledgements The research was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Education 'Automatic geodetic monitoring of the natural environment and engineering structures by means of low-budget high-precision sensors of vertical movements in the Far North' (FEFS-2023-0003).

references

1. Melnikov VP, Osipov VI, Brouchkov AV, et al. Climate Warming and Permafrost Thaw in the Russian Arctic: Potential Economic Impacts on Public Infrastructure by 2050. *Natural Hazards*. 2022;112: 231–251. DOI:10.1007/s11069-021-05179-6.
2. Curone D, Savarese G, Antonini M, et al. An Innovative Low-Power, Low-Cost, Multi-Constellation Geodetic-Grade Global Navigation Satellite System Reference Station for the Densification of Permanent Networks: The GREAT Project. *Sensors*. 2023;23(13): 6032. DOI:10.3390/s23136032.
3. Blanch X, Guinau M, Eltner A, et al. Fixed Photogrammetric Systems for Natural Hazard Monitoring with High Spatio-Temporal Resolution. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2023;23(10): 3285–3303. DOI:10.5194/nhess-23-3285-2023.
4. Zhuang Y, Chen W, Jin T, et al. A Review of Computer Vision-Based Structural Deformation Monitoring in Field Environments. *Sensors*. 2022;22(10): 3789. DOI:10.3390/s22103789.
5. Ferraris C, Amprimo G, Pettiti G. Computer Vision and Image Processing in Structural Health Monitoring: Overview of Recent Applications. *Signals*. 2023;4(3): 539–574. DOI:10.3390/signals4030029.
6. Avkhadeev VG, Mozharov GA, Savostin PI, et al. Lazernaya izmeritel'naya skaniruyushchaya sistema dlya opredeleniya kriticheskikh deformatsii lineinykh ob'ektov [Laser Measuring Scanning System for Determination of Critical Deformations of Linear Objects]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2019;63(6): 636–644. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2019-63-6-636-644.
7. Cao J, Chen Y, Yu D, et al. Real-Time Laser Spot Detection and Tracking System Based on Parallel Multi-Target Detection and Determination Algorithm. *Review of Scientific Instruments*. 2023;94: 095007. DOI:10.1063/5.0157141.
8. Zhou Y, Wagner A, Wunderlich T, et al. Calibration Method for IATS and Application in Multi-Target Monitoring Using Coded Targets. *Journal of Applied Geodesy*. 2017;11(2): 99–106. DOI:10.1515/jag-2016-0021.
9. Zschiesche K, Schlüter M. Classification and Object Detection with Image Assisted Total Station and Machine Learning. *Journal of Applied Geodesy*. 2023;17(4): 381–389. DOI:10.1515/jag-2023-0011.
10. Wierzbicki S, Pióro Z, Osiniak M. Laser-Inclinometric Method for Displacement Measurements in Structural Health Monitoring. *Archives of Civil Engineering*. 2022;68(4): 607–616. DOI:10.24425/ace.2022.143057.
11. Vicente M, Gonzalez D, Minguez J, et al. A Novel Laser and Video-Based Displacement Transducer to Monitor Bridge Deflections. *Sensors*. 2018;18(4): 970. DOI:10.3390/s18040970.
12. Zhao X, Liu H, Yu Y, et al. Bridge Displacement Monitoring Method Based on Laser Projection-Sensing Technology. *Sensors*. 2015;15(4): 8444–8463. DOI:10.3390/s150408444.
13. Portugal-Zambrano CE, Mena-Chalco JP. Robust Range Finder Through a Laser Pointer and a Webcam. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*. 2011;281: 143–157. DOI:10.1016/j.entcs.2011.11.031.
14. Sorokin MI. Lazernyy dal'nometr i 2D skanirovanie pomeshcheniya [Laser Rangefinder and 2D Indoor Scanning]. *Alley of Science*. 2017;2(9): 877–888. (In Russian).
15. Yangalyshev VR, Popkov MA, Naumov VY. Programma dlya kalibrovki malobudzhethnykh vysokotochnykh tsifrovyykh videoinklinometrov [Software for Calibration of Low-Budget High-Precision Digital Video Inclinometers]. *Oil and Gas: Technologies and Innovations: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Tyumen: TIU; 2024: 182–186. (In Russian).

authors

Artem V. Mareev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
 Department of Space and Physical Geodesy, Institute of Geodesy and Management
 PhD in Engineering,
 0000-0002-1216-5350

Valentine R. Yangalishev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
 Department of Space and Physical Geodesy, Institute of Geodesy and Management

Alexandr V. Makeev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Special Devices, Innovatics, and Metrology,
Institute of Optics and Information Security Technologies

Lidia A. Kargina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Space and Physical Geodesy, Institute of Geodesy and Management

Submitted: October 2, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.



Возможность применения ТИМ-модели для геодезического обеспечения реставрации усадьбы

А.Н. Гусев¹✉, Х.Х. Насереддин¹

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Россия

✉ gus_1999@mail.ru

цитирование

Гусев А.Н., Насереддин Х.Х. Возможность применения ТИМ-модели для геодезического обеспечения реставрации усадьбы // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 34–49. DOI:10.30533/GiA-2026-014.

ключевые слова

технология информационного моделирования, лазерный сканер, геодезическое обеспечение реставрации зданий, геодезическая разбивочная основа, технология одновременной локализации и картографирования

аннотация

В статье рассматривается применение технологий информационного моделирования (ТИМ) и лазерного сканирования для решения геодезических задач при реставрации исторической усадьбы XVIII–XIX веков в Москве. Основное внимание уделено проблемам, связанным с отсутствием точных чертежей и несоответствием проектной документации реальному состоянию объекта, что привело к значительным отклонениям (до 50 см) при реализации реставрационных работ. Описывается методика создания геодезической разбивочной основы в условиях сложной планировки здания, а также предлагаются современные решения, включая использование мобильного лазерного сканера EFT SL1 и наземного сканера Leica RTC360 для оперативного обновления геодезических данных. В работе представлен анализ применения ТИМ для контроля соответствия проектных решений фактическому состоянию объекта, что позволило минимизировать ошибки и оптимизировать процесс реставрации. Особое внимание уделено решению проблемы укрепления свода подвала с заменой деревянных перекрытий на железобетонные конструкции. Результаты исследования демонстрируют эффективность сочетания традиционных геодезических методов (тахеометрической съемки) с инновационными технологиями (лазерное сканирование, технология одновременной локализации и картографирования), обеспечивающего высокую точность и сокращающего временные затраты. Практическая значимость работы заключается в предложенных методиках, которые могут быть применены при реставрации других объектов культурного наследия, особенно в условиях ограниченного доступа

к исходным данным и сложной архитектурной среды. Результаты исследования подчеркивают важность интеграции современных технологий в процессы сохранения исторических памятников.

1 Введение

Актуальность проблемы реставрации объектов культурного наследия (ОКН) обусловлена комплексом трудностей, ключевая из которых состоит в отсутствии или неполноте достоверной проектной документации, а также уничтожении геодезических пунктов внутри здания. Когда в процессе работ обнаруживаются конструктивные элементы, не отраженные в исторических чертежах, требуется оперативная коррекция проектных решений. Сделать это невозможно без точных и полных данных о реальном состоянии объекта, в связи с чем первостепенную роль играют инженерно-геодезические изыскания.

Однако при проведении реставрационных работ фасад здания, как правило, закрывается защитным полотном. Эта мера создает серьезные препятствия для геодезического обеспечения, вынуждая специалистов повторно выполнять привязку к внешним опорным пунктам государственной геодезической сети на прилегающей территории. После этого требуется заново создавать сеть съемочного обоснования внутри объекта для возобновления съемочных или разбивочных работ.

Дополнительную сложность вызывает то, что комплексная реставрация часто включает масштабные конструктивные преобразования, такие как замена деревянных балочных перекрытий на монолитные железобетонные конструкции, устройство новых фундаментов с частичной или полной разгрузкой исторических, усиление несущих стен методами армирования и инъектирования.

Эти технологические процессы носят инвазивный характер и приводят к уничтожению или смещению геодезических марок, фиксирующих пункты внутренней разбивочной основы. В результате возникает необходимость многократного обновления геодезической сети — передачи планово-высотных координат с внешней опорной сети и повторного создания съемочного обоснования. Проблема неоднократного воспроизведения геодезической сети существенно осложняет задачи геодезического обеспечения, увеличивает трудоемкость работ и создает риск возникновения дополнительных погрешностей при передаче координат и высот.

Традиционные геодезические методы, такие как тахеометрическая съемка, зачастую неспособны адекватно отразить сложную пространственную конфигурацию исторических объектов, характеризующихся наличием труднодоступных зон, сложным декором и деформациями [1]. Формирование геодезической разбивочной основы внутри таких зданий осложнено существованием физических препятствий, а также необходимостью частого восстановления разрушаемых в процессе работ реперов.

В качестве решения данной проблемы в последние два десятилетия активно применяется технология лазерного сканирования (ТЛС), позволяющая с высокой точностью и детальностью зафиксировать геометрию объекта в виде массива трехмерных точек (облака точек) [2, 3]. Результатом обработки данных ТЛС, как правило, становится создание информационной модели (технология информационного моделирования, ТИМ / *англ.* Building Information Modeling, BIM), которая служит основой для проектных решений [4, 5]. Для реставрации ОКН особой сложностью представляет вопрос точности. До начала моделирования должны быть определены допустимые отклонения геометрических параметров от действительных значений, причем эти допуски могут быть разными для различных элементов объекта [6].

Однако, несмотря на признанную эффективность ТЛС, в научно-методической литературе сохраняется ряд нерешенных вопросов. Во-первых, существует дефицит документов, регламентирующих применение лазерного сканирования

именно для задач реставрации ОКН [7]. Во-вторых, недостаточно проработаны методики интеграции данных ТЛС в ТИМ-среду для объектов, изначально не имевших цифрового прототипа, когда создание модели происходит на этапе эксплуатации и реставрации [8]. В-третьих, вопросы оптимизации процессов совместной работы с полученными моделями для архитекторов, инженеров и реставраторов требуют дальнейшего изучения [9].

Целью настоящего исследования является разработка и апробация комплексной методики применения лазерного сканирования и ТИМ для реставрации ОКН. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

- 1) проанализировать ограничения традиционных геодезических методов и современные возможности лазерного сканирования при обследовании объекта реставрации;
- 2) разработать алгоритм проведения лазерного сканирования, ориентированный на задачи реставрационного проектирования;
- 3) на примере конкретного объекта апробировать разработанную методику и оценить ее эффективность.

Рис. 1 ✓

Главный дом городской усадьбы конца XVIII – XIX в.

Fig. 1

The main house of the city estate of the late 18th – 19th centuries



2 Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматривается главный дом городской усадьбы (конец XVIII – XIX в.) в Москве (рис. 1). Объект реставрации расположен в верхней части Вознесенского переулка, на выходе к улице Тверской. В 2017 году выполнялись работы по его реконструкции [10].

Одной из ключевых проблем при реставрации памятников культуры является отсутствие или неудовлетворительная точность исполнительных чертежей, а также недостаточная изученность конструкций зданий. В ходе реставрационных работ нередки случаи, когда новые опорные конструкции должны быть интегрированы в существующие структурные элементы, не обладающие достаточной прочностью [10]. Проблема несоответствия чертежей показана на примере реконструкции свода подвала (рис. 2, 3), сохранившегося с 1710 года от другого здания, которое стояло на месте усадьбы раньше, и представляющего особую историческую ценность. Проект был разработан на основе исторических планов без проведения геодезических измерений.

Рис. 2 ✓

Проектный чертеж подвала усадьбы

Fig. 2

Design drawing of the estate basement

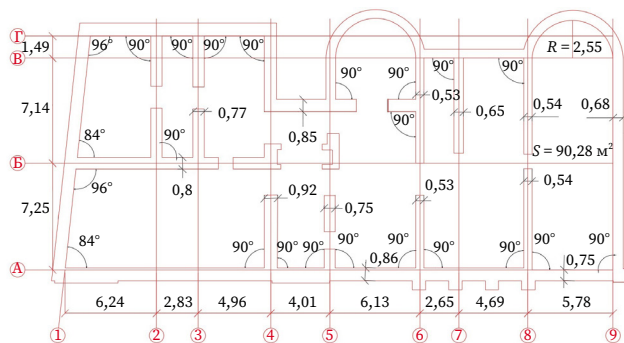
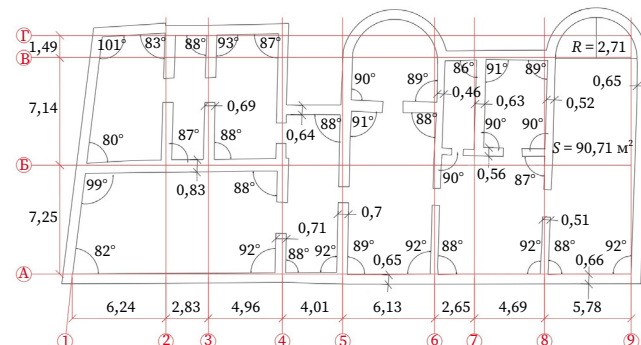


Рис. 3 ✓

Фактические чертежи подвала усадьбы

Fig. 3

As-built drawings of the estate basement



Для сохранения свода был разработан проект, предусматривающий замену деревянных перекрытий на бетонные, а бутового фундамента — на железобетонный. С целью предотвращения обрушения под нагрузкой бетонного перекрытия было запроектировано усиление свода. В рамках проекта реконструкции планировалось возведение 16 железобетонных колонн, предназначенных для восприятия нагрузки от свода подвала и вышележащих перекрытий. Согласно проекту, колонны должны были быть интегрированы в существующие кирпичные стены и опереться на металлические балки, усилившие периметр подвала после замены фундамента. Исходные данные о расположении конструкций были получены проектной организацией на основе исторического плана 1882 года без проведения геодезической съемки. Однако на этапе реализации был выявлен критический просчет: исполнительная съемка зафиксировала несоответствия между проектом и реальным положением стен: максимальное отклонение достигло 50 см, при этом стены были ориентированы под разными углами, а их толщина не соответствовала проектным значениям [10]. Возведение колонн в соответствии с первоначальным проектом создавало угрозу разрушения свода.

В рамках применявшегося до внедрения ТИМ-технологий подхода данная проблема была решена математическими методами, позволившими определить оптимальную разбивочную линию для размещения всех колонн. Условиями являлись: утопление колонн в стену, их расположение в одном створе и опирание на металлическую балку. Была выведена формула для нахождения оптимального положения разбивочной линии, выполнено 10 итераций и выбрано решение с минимальной суммой критерия. В настоящее время для решения подобных задач возможно применение современного программного обеспечения, использующего ТИМ-моделирование, вместо трудоемких математических расчетов.

Еще одной проблемой, возникающей в процессе реставрации, является создание и поддержание геодезической разбивочной основы (ГРО) внутри здания. При реализации реставрационных объектов фасад часто закрывают защитной тканью, что создает трудности для геодезистов при обновлении внутренней геодезической сети. В ходе реставрации применялась технология инъекции стен, приводившая к уничтожению марок, что требует частого восстановления ГРО. На рис. 4 изображены марки ГРО перед началом реставрации.

На рис. 5 представлена созданная в программном обеспечении Revit [11] ТИМ-модель, на которой показаны проектные решения подвала усадьбы: железобетонные колонны, трубы для инъекции кирпичных стен. Видно, что из-за возведения монолитных колонн и проведения инъекций марки находятся в зоне проведения работ, что приводит к их постоянной потере и необходимости частого восстановления сети ГРО.

Реставрация объекта была закончена в 2017 году, в то время был создан полигонометрический ход. Для формирования ГРО на территории объекта реставрации было запланировано создание четырех пунктов вокруг усадьбы (А1–А4),

Рис. 4 ▼

ТИМ-модель подвала усадьбы

Fig. 4

ТИМ model of the estate basement

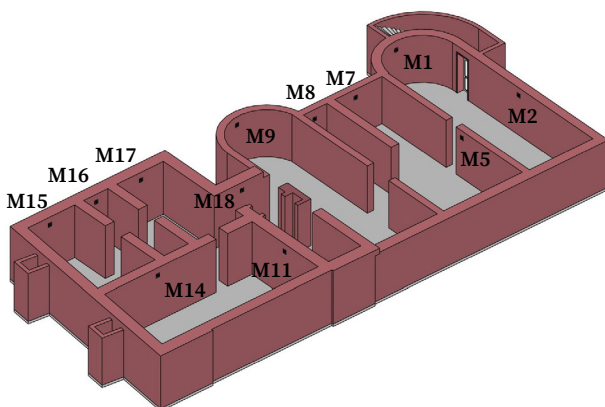


Рис. 5 ▼

Подвал усадьбы в программной среде Revit

Fig. 5

Estate basement in the Revit software environment

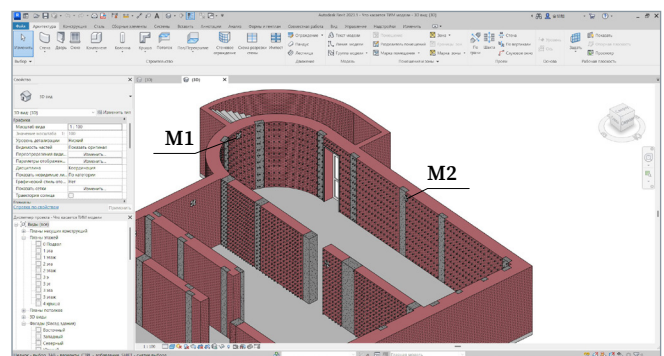


Рис. 6 
Исходные пункты МГГТ 53844 и 5208 (фото А.Н. Гусева)

Fig. 6
Initial points of MGGT
53844 and 5208
(photo by Alexandr N. Gusev)



представляющих собой металлические дюбели, закрепленные в асфальте. В округе были идентифицированы два ственных пункта Мосгоргеотреста (МГГТ) 53844 и 5208, имеющих плановые и высотные координаты (класс точности в плане — 1-й разряд, по высоте — 3-й класс). На рис. 6 показаны исходные пункты. Расположение реперов представлено на рис. 7. Для сгущения сети был проложен полигонометрический ход 2-го разряда (рис. 8). Характеристика полигонометрического хода показана в табл. 1.

Для измерений использовался технический тахеометр Sokkia iM-102L, для обработки измерений — программное обеспечение ТИМ КРЕДО ДАТ. В табл. 2 показаны координаты внешних пунктов сети, определенные полигонометрическим ходом.

От полигонометрического хода 2-го разряда было сделано ГРО внутри здания. На рис. 9 показан ход внутри усадьбы. В табл. 3 приведены координаты внутренних пунктов сети, определенные полигонометрическим ходом.

На объекте реставрации существует высокая вероятность потери геодезических марок в процессе реконструкции, связанной с демонтажем стен, инъекциями, возведением новых железобетонных конструкций. Это существенно осложняет выполнение инженерно-геодезических изысканий. После реконструкции первого этажа было утрачено 70 % марок, что потребовало повторного проложения тахеометрического хода для обновления ГРО.

В качестве современного решения предлагается использовать для обновления ГРО технологию мобильного лазерного сканирования, что позволяет повысить

Таблица 1 
Ведомость характеристик полигонометрического хода

Table 1
Tacheometric traverse characteristics log

Ход	Класс	Точки хода	Длина хода, м	N	N _b	F _{β факт}	F _{β доп}	Невязки по уравненным дирекционным углам, м			
								F _x	F _y	F _s	[S] / F _s
1	2-й разряд	RP5208, A1, ..., RP53844	423,0	8	6	0°00'15"	0°00'49"	-0,003	-0,003	0,005	93 080

Рис. 7 
Схема расположения ственных реперов

Fig. 7
Layout of wall benchmarks

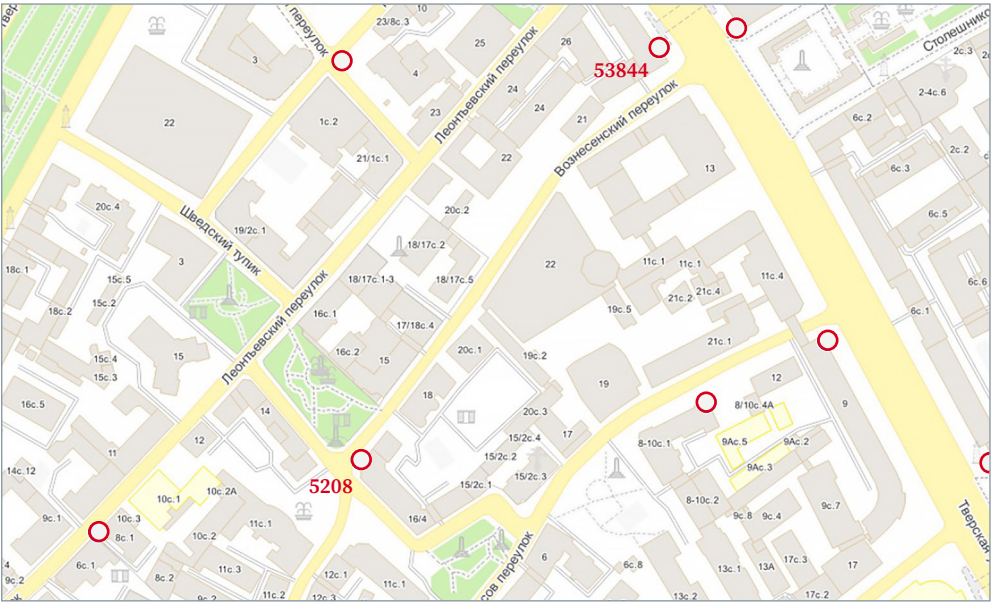


Рис. 8 
Полигонометрический ход

Fig. 8
Precision polygonometric traverse

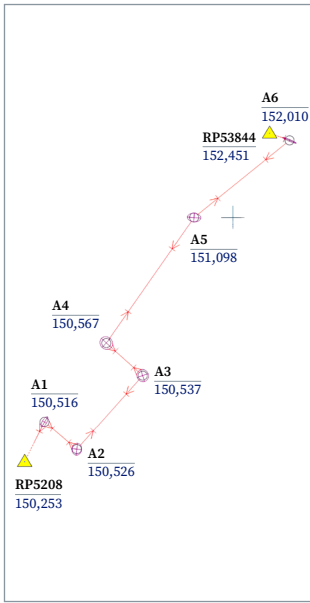


Таблица 2 

Ведомость координат внешней
сети

Table 2

Coordinates log

Пункт	X, м	Y, м	m_{xy} , м	H, м	m_H , м
A1	10 337,420	6750,157	0,0051	150,516	0,0007
A2	10 315,489	6775,879	0,0062	150,526	0,0008
A3	10 374,243	6828,271	0,0067	150,537	0,0010
A4	10 400,098	6799,302	0,0072	150,567	0,0010
A5	10 499,830	6869,129	0,0064	151,098	0,0009
A6	10 561,097	6945,061	0,0059	152,010	0,0005
RP5208	10 305,613	6734,402	—	150,253	—
RP53844	10 566,828	6929,219	—	152,451	—

Рис. 9 

Тахеометрический ход
внутри усадьбы

Fig. 9

Tacheometric traverse
within the estate

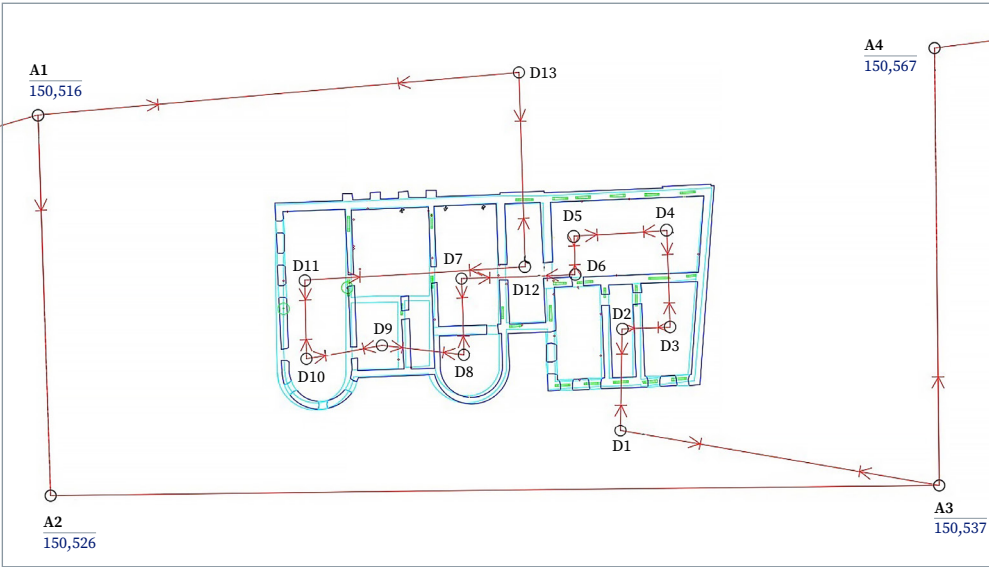


Таблица 3 

Ведомость координат
внутренней сети

Table 3

Coordinates log

Пункт	X, м	Y, м	m_{xy} , м	H, м	m_H , м
A1	10 337,420	6750,157	—	150,516	—
A2	10 315,489	6775,879	—	150,526	—
A3	10 374,243	6828,271	—	150,537	—
A4	10 400,098	6799,302	—	150,567	—
D1	10 356,685	6805,615	0,0028	150,522	0,0183
D2	10 362,915	6799,041	0,0038	150,523	0,0203
D3	10 366,146	6801,774	0,0044	150,524	0,0211
D4	10 371,688	6795,228	0,0049	150,524	0,0224
D5	10 365,252	6790,085	0,0052	150,525	0,0234
D6	10 363,068	6792,652	0,0053	150,525	0,0237
D7	10 355,367	6786,158	0,0054	150,527	0,0244
D8	10 350,973	6791,301	0,0053	150,527	0,0247
D9	10 346,216	6785,770	0,0052	150,528	0,0249
D10	10 340,430	6782,155	0,0050	150,555	0,0249
D11	10 345,025	6776,923	0,0045	150,529	0,0248
D12	10 360,243	6789,157	0,0040	150,530	0,0235
D13	10 371,436	6776,080	0,0031	150,528	0,0212

оперативность процесса. На рассматриваемом объекте для создания и обновления ГРО применялись мобильный лазерный сканер (МЛС) EFT SL1 и наземный лазерный сканер (НЛС) Leica RTC360. Оценку точности результатов измерений, полученных с помощью лазерного сканирования, предлагается выполнять путем сравнения с данными, полученными тахеометром и принимаемыми за эталонные. Методика предполагает первоначальное создание ГРО традиционным способом с использованием тахеометра с последующим сканированием того же участка лазерным сканером. Критерием оценки будет служить разность координат одноименных пунктов, определенных обоими методами. Для МЛС существует два варианта определения координат точек, для НЛС — один.

Мобильный сканер функционирует в динамическом режиме. Его фундаментальная задача заключается не только в фиксации расстояний до объектов, но и в непрерывном определении с высокой точностью собственного положения и ориентации в пространстве. Для этого используется инерциально-навигационная система (ИНС), технология одновременной локализации и картографирования (*англ.* Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) [11, 12], которая позволяет устройству создавать карту окружающей среды и одновременно определять свое местоположение на этой карте в режиме реального времени, что и обуславливает наличие двух методик.

1. Методика привязки к облаку точек. Система мобильного лазерного сканирования интегрирует данные от лазерного дальномера, с высокой скоростью измеряющего расстояния до окружающих объектов, и ИНС. Для определения координат с помощью облака точек понадобится четыре исходных пункта, чтобы привязать облако точек к требуемой системе координат. С помощью программного обеспечения в облаке точек необходимо визуально найти исходные пункты или создать контрольные точки с помощью центрира МЛС. После привязки облака точек требуется визуальным способом обнаружить центры определяемых пунктов [13, 14].
2. Методика центрирования. Данный метод применяется для контроля точности, сшивки траекторий или в условиях нестабильного / отсутствующего сигнала глобальной навигационной спутниковой системы. За основу принимаются не координаты каждой точки, а траектория движения центра сканирующей системы, рассчитываемая ИНС. Эта траектория представляет собой непрерывную линию с известными координатами и ориентацией, служащую жестким каркасом. Координаты точек облака вычисляются относительно указанной траектории. Этот подход требует дополнительной обработки, но обеспечивает высокую точность и целостность данных, минимизируя накопленную погрешность [15, 16].

НЛС работает статично, устанавливаясь на штативе. Каждый скан выполняется в собственной локальной системе координат прибора. Для объединения данных с нескольких станций в единую модель необходимо выполнить их привязку к общей системе координат с помощью целевых марок (реперов), размещенных на объекте и идентифицируемых в разных сканах, либо по естественным объектам, когда программное обеспечение автоматически находит общие объекты в разных сканах и совмещает их. Геопривязка итогового облака точек к реальной системе координат требует наличия на объекте нескольких точек с известными координатами. Эти точки идентифицируются в облаке, и к нему применяется соответствующее преобразование. Для надежной привязки облака точек к заданной системе координат рекомендуется использовать не менее четырех исходных пунктов. После привязки облака точек обрабатывается: переводится в режим отображения по интенсивности, в нем идентифицируются отсканированные марки, с помощью специализированного программного обеспечения (например, AutoCAD, CloudCompare) определяются их координаты.

При использовании методики центрирования также требуется наличие четырех исходных пунктов. Центрир прикладывается к исходным и определяемым пунктам. Последние получают координаты в системе координат лазерного сканера. Для их преобразования в требуемую систему координат используются ключи перехода, которые могут быть рассчитаны на основе координат четырех

пунктов в обеих системах координат, например с помощью CloudCompare или встроенного программного обеспечения сканера, предоставляющего необходимые приращения координат.

Поскольку реставрация закончилась в 2017 году, а исследование проведено в 2025 году, все методики опробованы на другом объекте. Объект для исследования — офис ООО «ЕФТ ГРУПП».

3 Результаты и обсуждение

Для проведения экспериментальных исследований был применен комплекс геодезических приборов, включающий электронный тахеометр EFT TS1 (точность измерения углов — 2", точность линейных измерений в безотражательном режиме — 3 мм + 2 ppm) и МЛС EFT SL1 (точность измерения расстояний до 10 мм).

На объекте исследований был проложен тахеометрический ход с целью определения планово-высотных координат контрольных марок. Пункты 1–6 приняты в качестве исходной опорной геодезической сети. Пункты A1–A6 и D1–D6 являются определяемыми.

Схематическое изображение процесса измерений тахеометром представлено на рис. 10. Конфигурация проложенного тахеометрического хода отображена на рис. 11, а внешний вид марок показан на рис. 12.

Исходные пункты были созданы тахеометром. Прибор был приведен в рабочее положение; создана станция ST1 с координатами $X = 100$, $Y = 100$, $H = 10$; определены координаты исходных марок 1, 2. От исходных марок был проложен тахеометрический ход одним полуприемом. Характеристика хода приведена в табл. 4, характеристики ходов тригонометрического нивелирования — в табл. 5.

Для определения координат геодезических марок с применением МЛС EFT SL1 были использованы две описанные выше методики. Схематическое

Рис. 10 
Схема измерений

Fig. 10
Measurement diagram

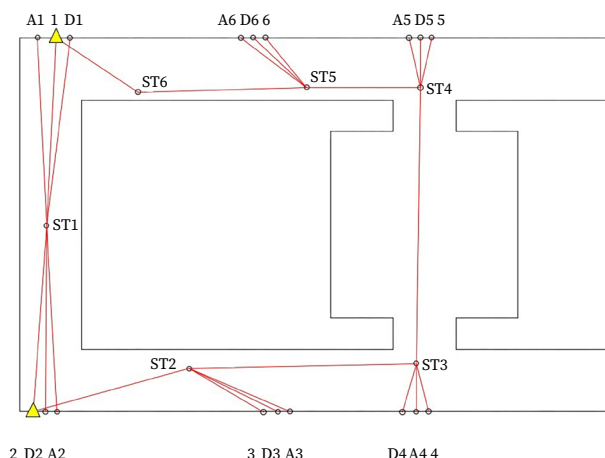


Рис. 11 
Тахеометрический ход

Fig. 11
Tacheometric survey traverse

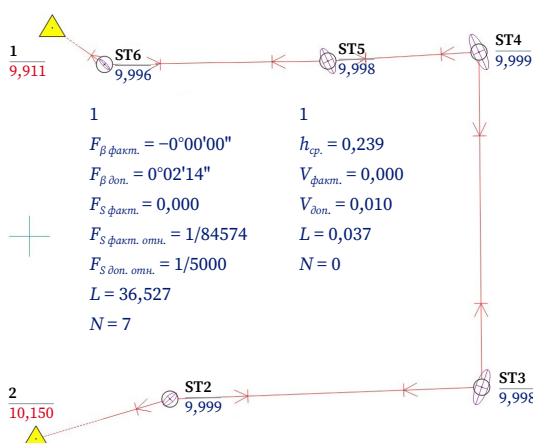


Рис. 12 
Марки

Fig. 12
Benchmarks

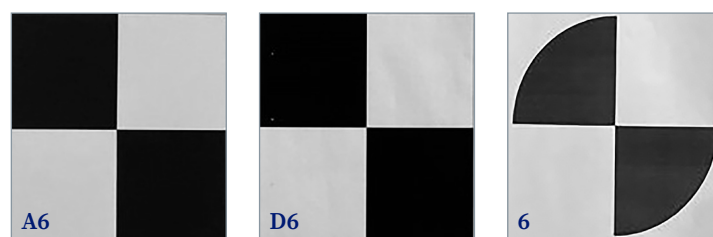


Таблица 4 ➔
Характеристика
тахеометрического хода

Table 4
Characteristics
of the tacheometric traverse

Точки хода	Длина хода, м	N	N _b	F _{β факт}	F _{β доп}	Невязки по уравненным дирекционным углам, м			
						F _x	F _y	F _s	[S] / F _s
1, ST2, ST3, ST4, ST5, ST6, 2	36,527	7	5	0°00'00"	0°02'14"	0,001	0,000	0,001	69 880

Таблица 5 ➔
Характеристика
тригонометрического
нивелирования

Table 5
Characteristics of trigonometric
leveling

Пункты	Длина, м	N	F _{N факт} , м	F _{N доп} , м
1, ST2, ST3, ST4, ST5, ST6, 2	0,037	7	0,000	0,010

изображение маршрута сканирования по методике привязки к облаку точек представлено на рис. 13. Маршрут измерений, соответствующий методике центрирования, отображен на рис. 14.

Результаты определения координат с помощью лазерного сканера будем сравнивать с результатами электронного тахеометра. Полученные координаты представлены в табл. 6, разности координат (истинные ошибки) — в табл. 7.

При использовании методики привязки к облаку точек максимальное расхождение между координатами, полученными тахеометром и сканером, составило

Рис. 13 ▼
Маршрут лазерного сканера по методике привязки к облаку точек

Fig. 13
Laser scanner route according to the point cloud methodology

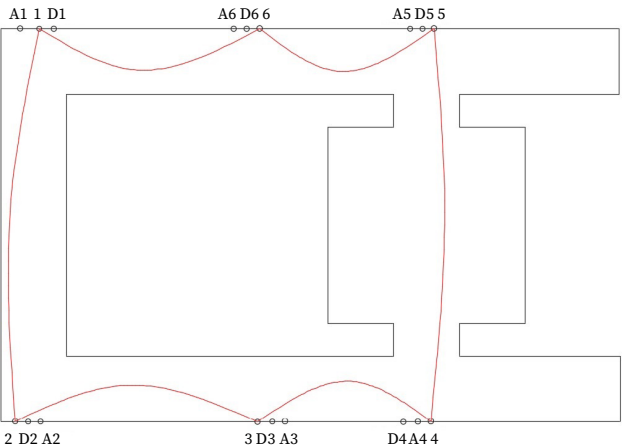


Рис. 14 ▼
Маршрут лазерного сканера по методике центрирования

Fig. 14
Laser scanner route according to the centering methodology

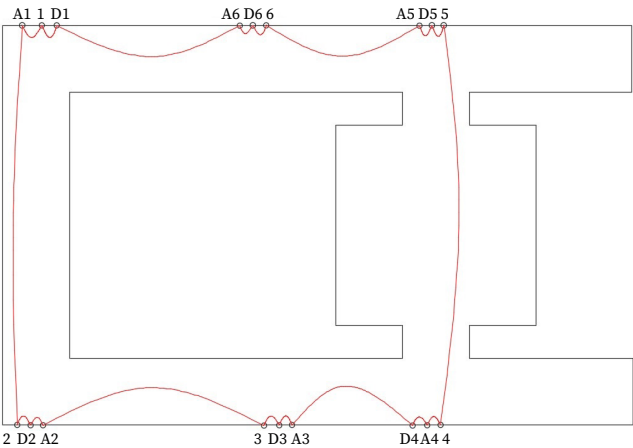


Таблица 6 ▼
Координаты марок, полученные тахеометром и МЛС

Table 6
Benchmark coordinates obtained by total station and MLS

Марка	Координаты, м			Тахеометр			МЛС			Центрир МЛС		
	X	Y	H	X	Y	H	X	Y	H	X	Y	H
A1	106,207	100,302	10,144	106,197	100,307	10,152	106,209	100,300	10,149			
A2	93,966	100,438	10,191	93,978	100,432	10,184	93,961	100,442	10,198			
A3	94,086	107,752	10,074	94,077	107,751	10,069	94,082	107,746	10,083			
A4	94,157	112,358	10,120	94,172	112,360	10,116	94,151	112,359	10,125			
A5	106,388	112,006	10,112	106,399	112,010	10,113	106,392	112,009	10,118			
A6	106,269	104,279	10,110	106,283	104,279	10,116	106,271	104,277	10,110			
D1	106,202	100,969	10,195	106,213	100,965	10,196	106,203	100,970	10,199			
D2	93,971	99,941	10,186	93,981	99,938	10,189	93,967	99,936	10,180			
D3	94,082	107,502	10,080	94,089	107,508	10,086	94,079	107,507	10,088			
D4	94,150	112,073	10,116	94,137	112,078	10,124	94,143	112,077	10,113			
D5	106,392	112,246	10,114	106,380	112,242	10,119	106,397	112,246	10,116			
D6	106,272	104,535	10,115	106,263	104,534	10,115	106,273	104,538	10,110			

Таблица 7 ✓

Разность координат, полученных тахеометром и МЛС

Table 7

The differences between the coordinates obtained by total station and MLS

Марка	Разность координат, м					
	Методика привязки к облаку точек			Методика центрирования		
	X	Y	H	X	Y	H
A1	0,010	-0,005	-0,008	-0,002	0,002	-0,005
A2	-0,012	0,006	0,007	0,005	-0,004	-0,007
A3	0,009	0,001	0,005	0,004	0,006	-0,009
A4	-0,015	-0,002	0,004	0,006	-0,001	-0,005
A5	-0,011	-0,004	-0,001	-0,004	-0,003	-0,006
A6	-0,014	0,000	-0,006	-0,002	0,002	0,000
D1	-0,011	0,004	-0,001	-0,001	-0,001	-0,004
D2	-0,010	0,003	-0,003	0,004	0,005	0,006
D3	-0,007	-0,006	-0,006	0,003	-0,005	-0,008
D4	0,013	-0,005	-0,008	0,007	-0,004	0,003
D5	0,012	0,004	-0,005	-0,005	0,000	-0,002
D6	0,009	0,001	0,000	-0,001	-0,003	0,005

по X 14 мм, по Y — 6 мм, по H — 8 мм. Методика центрирования обеспечила следующее максимальное расхождение между координатами: по X — 7 мм, по Y — 6 мм, по H — 9 мм.

Для создания и обновления ГРО предлагается использовать наземный сканер Leica RTC360 [17, 18]. Это третья методика. С помощью лазерного сканера создается облако точек, далее оно регистрируется (регистрация облака точек — это процесс совмещения нескольких облаков точек, полученных в результате сканирования, в единую систему координат). Затем сшитое облако точек в нужной системе координат используется для скалывания координат марок. В качестве объекта исследования был выбран офис компании ООО «ЕФТ ГРУПП».

Сначала измерения были выполнены тахеометром. От двух исходных пунктов в условной системе координат с помощью засечки определены координаты марок 38, 39, 40, 41.

Для определения координат с помощью лазерного сканера используется режим по интенсивности, который показывает точки с наилучшим и наихудшим отражением лазерного сигнала. В нашем исследовании использованы черно-белые марки с наиболее контрастным уровнем отражения сигнала [19, 20]. На рис. 15 представлено облако точек по интенсивности в программе CloudCompare.

Полученные с помощью лазерного сканера координаты сравним с результатами тахеометрических измерений. Координаты представлены в табл. 8, разности координат (истинные ошибки) показаны в табл. 9.

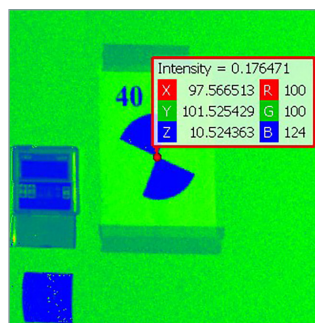
Истинные ошибки лазерного сканирования не превысили по X — 2 мм, по Y — 4 мм, по H — 6 мм.

Рис. 15 ✓

Вид марки 40 в облаке точек

Fig. 15

Benchmark 40 in point cloud view

**Таблица 8** ✓

Координаты марок, полученные тахеометром и НЛС

Table 8

Benchmark coordinates obtained by total station and TLS

Марка	Координаты, м					
	Тахеометр			НЛС		
	X	Y	H	X	Y	H
38	96,715	96,872	10,598	96,716	96,874	10,597
39	99,444	97,196	10,631	99,443	97,200	10,626
40	97,564	101,525	10,521	97,566	101,527	10,524
41	98,398	102,613	10,552	98,400	102,609	10,558

Таблица 9 ✓

Разности координат, полученных тахеометром и НЛС

Table 9

The differences between the coordinates obtained by total station and TLS

Марка	Разности координат, м		
	X	Y	H
38	-0,001	-0,002	0,001
39	0,001	-0,004	0,005
40	-0,002	-0,002	-0,003
41	-0,002	0,004	-0,006

4 Выводы

Проведенное исследование подтверждает высокую эффективность интеграции ТИМ и лазерного сканирования для геодезического обеспечения реставрации ОКН. Сочетание этих методов позволяет оперативно выявлять и минимизировать критические расхождения между проектной документацией и реальным состоянием объекта, которые в ряде случаев могут достигать 50 см.

Сравнительный анализ демонстрирует, что лазерное сканирование является высокоточным и оперативным методом создания ГРО, выступая эффективной альтернативой традиционным тахеометрическим съемкам. Оба протестированных типа сканеров — мобильный EFT SL1 и наземный Leica RTC360 — обеспечивают точность измерений, сопоставимую с тахеометром EFT TS1.

Ключевые выводы исследования состоят в следующем:

1. Лазерное сканирование позволяет с высокой детализацией создавать и оперативно обновлять ГРО как снаружи, так и внутри зданий.
2. При использовании разных приборов НЛС (Leica RTC360) показал наилучшую точность с максимальным расхождением координат (2–6 мм), что делает его предпочтительным для решения задач, требующих максимальной детализации.
3. При определении координат ГРО с помощью МЛС методика центрирования продемонстрировала наилучшую точность по сравнению с методикой привязки к облаку точек.

библиография

1. Насереддин Х.Х. Геодезическое обеспечение при реставрации свода подвала усадьбы XVIII века // Успехи современного естествознания. 2024. № 10. С. 102–111. DOI:10.17513/use.38325.
2. Яхина Е.П., Светлова О.И. Анализ тенденций использования технологии лазерного сканирования при сохранении объектов культурного наследия России // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2024. № 2 (48). С. 58–63. DOI:10.52684/2312-3702-2024-48-2-58-63.
3. Кулеш А.А. Возможности и преимущества лазерного сканирования при 3D-проектировании промышленных объектов // Инновации и инвестиции. 2023. № 2. С. 265–267.
4. Прокопенко И.В., Тетерина К.С., Саенко И.А. Технологии информационного моделирования в практике реставрационных работ памятников архитектурного наследия // Урбанистика. 2023. № 2. С. 76–83. DOI:10.7256/2310-8673.2023.2.40766.
5. Бабинова А.Д. Целесообразность применения современных информационных технологий в проектах реставрации объектов культурного наследия // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VII Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2024. С. 290–296. DOI:10.23968/BIMAC.2024.039.
6. Кашеварова Г.Г., Сёмина А.Е. Информационное моделирование зданий и классификация архитектурных элементов для объектов культурного наследия // Academia. Архитектура и строительство. 2022. № 4. С. 138–143. DOI:10.22337/2077-9038-2022-4-138-143.
7. Гирия Л.В., Трофимов Г.П. Обследование памятников архитектуры с использованием современных технологий трехмерного сканирования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24, № 6. С. 35–43. DOI:10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43.
8. Пухаренко Ю.В., Шангина Н.Н., Харитонов А.М. и др. Проблемы и перспективы развития информационного моделирования для реставрации объектов культурного наследия // Academia. Архитектура и строительство. 2024. № 3. С. 171–175. DOI:10.22337/2077-9038-2024-3-171-175.
9. Майничева А.Ю., Груздева Е.А., Орлова Е.Ю. Методика обмеров зданий методом лазерного сканирования (на примере двух объектов культурного наследия Новосибирской области) // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. 2023. № 51. С. 258–269. DOI:10.17223/22220836/51/22.

10. Листков Н.С., Насереддин Х. Использование современных приборов и технологий для геодезического обеспечения реставрации архитектурно-исторических памятников // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы докладов Четырнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций, Москва, 11–14 декабря 2018 г. М.: Геомаркетинг, 2018. С. 695–701.
11. Пугачева П.А., Данилов А.К. Моделирование объекта в среде Autodesk Revit // Наука в современном мире: взгляд молодых ученых: материалы VIII Международной научно-практической конференции, Грозный, 27–28 мая 2022 г. Грозный: ЧГПУ, 2022. С. 666–673.
12. Ян Г., Мэн В., Дун Х. и др. Использование ключевых точек и линий изображения в задаче визуально-инерциальной одометрии в реальном времени // Гироскопия и навигация. 2023. Т. 31, № 4. С. 96–117.
13. Соломатин В.А. Пространственно-частотные характеристики лазерных сканеров // Оптический журнал. 2020. Т. 87, № 4. С. 19–27. DOI:10.17586/1023-5086-2020-87-04-19-27.
14. Малинов В.А., Павлов Н.И., Попиков В.С. и др. Сверхбыстрое сканирование пространства импульсно-периодическим chirпированным лазерным излучением по двум ортогональным координатам // Оптический журнал. 2025. Т. 92, № 1. С. 21–29. DOI:10.17586/1023-5086-2025-92-01-21-29.
15. Стугирев И.Д., Астафьева Н.С. Использование лазерного сканирования как способа сбора данных при создании информационной модели здания // Неделя науки ИСИ: материалы Всероссийской конференции: в 3 ч. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. Ч. 2. С. 201–203.
16. Серезкин В.Д., Асманкина А.А., Баусова А.А. Сравнительное исследование мобильного лазерного сканирования, наземного лазерного сканирования и мобильной фотограмметрии для обследования железнодорожной инфраструктуры // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: материалы IX Всероссийской конференции с международным участием. М.: Дашков и К, 2025. С. 476–479.
17. Руденко А.А., Черный В.А. Оценка факторов и методика контроля качества работ при строительстве и ремонте зданий с использованием наземного лазерного сканирования // Вестник гражданских инженеров. 2025. № 6 (113). С. 42–57. DOI:10.23968/1999-5571-2025-22-6-42-57.
18. Сяглов Ю.И. Наземное лазерное сканирование и BIM-проектирование при обследовании, мониторинге и реконструкции зданий // Инвестиции, градостроительство, технологии как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: материалы XVI Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Томск: ТГАСУ, 2026. Ч. 2. С. 174–179.
19. Носков И.В., Анашкина А.Е., Черепанов Д.Н. и др. Экспертная оценка практикуемых систем наземного лазерного сканирования для обеспечения безопасной эксплуатации объектов капитального строительства // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17, № 6. С. 1–16. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://esj.today/PDF/28SAVN625.pdf> (дата обращения: 11.06.2025).
20. Шереметинский А.В. Сравнительный анализ применения наземного и SLAM-сканирования при обследовании строительных конструкций // Актуальные вопросы и инновации в обследовании строительных конструкций зданий и сооружений: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: СФУ, 2025. С. 11–15.

авторы**Гусев Александр Николаевич**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра геодезии, геодезический факультет

 0009-0001-6370-932X

Насеретдин Хассан Хамадович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра геодезии, геодезический факультет

канд. техн. наук, доцент

 0009-0001-1806-7831

Поступила 19.06.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



The Possibility of Using the TIM Model for the Surveying Support of Manor Restoration

Alexandr N. Gusev¹✉, Hassan H. Nasreddin¹

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ gus_1999@mail.ru

citation Gusev AN, Nasreddin HH. The Possibility of Using the TIM Model for the Surveying Support of Manor Restoration. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 34–49. DOI:10.30533/GiA-2026-014.

keywords building information modeling, laser scanning, surveying support for building restoration, geodetic control network, SLAM technology

abstract The article examines the application of building information modeling (BIM) and laser scanning technologies to solve surveying tasks in the restoration of the 18th – 19th-century historic estate in Moscow. The main focus is on the problems associated with the lack of accurate drawings and the discrepancy between design documentation and the actual condition of the object, which led to significant deviations (up to 50 cm) during the implementation of restoration work. The methodology for creating a geodetic layout base under the conditions of the building's complex layout is described, and modern solutions are proposed, including the use of the EFT SL1 mobile laser scanner and the Leica RTC360 terrestrial scanner for the prompt updating of surveying data. The paper presents an analysis of the application of BIM modeling to control the compliance of design solutions with the actual condition of the object, which made it possible to minimize errors and optimize the restoration process. Particular attention is paid to solving the problem of strengthening the basement vault by replacing wooden floors with reinforced concrete structures. The results of the study demonstrate the effectiveness of combining traditional surveying methods (tachymetric survey) with innovative technologies (laser scanning, SLAM), which ensures high accuracy and reduces time costs. The practical significance of the work lies in the proposed methodologies, which can be applied in the restoration of other cultural heritage sites, especially under conditions of limited access to initial data and a complex architectural environment. The research results emphasize the importance of integrating modern technologies into the processes of preserving historical monuments.

references

1. Naserddin KK. Geodezicheskoe obespechenie pri restavratsii svoda podvala usad'by XVIII veka [Geodetic Support During the Restoration of the Vault of the Basement of the 18th Century Manor]. *Advances in Current Natural Sciences*. 2024;10: 102–111. (In Russian). DOI:10.17513/use.38325.
2. Yakhina EP, Svetlova OI. Analiz tendentsii ispol'zovaniya tekhnologii lazernogo skanirovaniya pri sokhranении ob'ektov kul'turnogo naslediya Rossii [Analysis of Trends in the Use of Laser Scanning Technology in the Conservation of Russian Cultural Heritage Sites]. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2024;2(48): 58–63. (In Russian). DOI:10.52684/2312-3702-2024-48-2-58-63.
3. Kulesh AA. Vozmozhnosti i preimushchestva lazernogo skanirovaniya pri 3D-proektirovanii promyshlennykh ob'ektov [Capabilities and Advantages of Laser Scanning in 3D Design of Industrial Facilities]. *Innovation & Investment*. 2023;2: 265–267. (In Russian).
4. Prokopenko IV, Teterina KS, Saenko IA. Tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v praktike restavratsionnykh rabot pamyatnikov arkhitekturnogo naslediya [Information Modeling Technologies in the Practice of Restoration Works of Architectural Heritage Monuments]. *Urban Studies*. 2023;2: 76–83. (In Russian). DOI:10.7256/2310-8673.2023.2.40766.
5. Babinova AD. Tselesoobraznost' primeneniya sovremennykh informatsionnykh tekhnologii v proektakh restavratsii ob'ektov kul'turnogo naslediya [The Expediency of Application Modern Information Technologies in Restoration Projects of Cultural Heritage Objects]. *BIM in Construction & Architecture: Proceedings of VII International Conference*. Saint Petersburg: SPSUACE; 2024: 290–296. (In Russian). DOI:10.23968/BIMAC.2024.039.
6. Kashevarova GG, Semina AE. Informatsionnoe modelirovanie zdaniy i klassifikatsiya arkhitekturnykh elementov dlya ob'ektov kul'turnogo naslediya [Information Modeling Technology for the Architectural Section of Cultural Heritage Objects]. *Academia. Architecture and Construction*. 2022;4: 138–143. (In Russian). DOI:10.22337/2077-9038-2022-4-138-143.
7. Girya LV, Trofimov GP. Obsledovanie pamyatnikov arkhitektury s ispol'zovaniem sovremennykh tekhnologii trekhmernogo skanirovaniya [Laser 3D Scanning of Architectural Monuments]. *Journal of Construction and Architecture*. 2022;24(6): 35–43. (In Russian). DOI:10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43.
8. Pukharensko YuV, Shangina NN, Kharitonov AM, et al. Problemy i perspektivy razvitiya informatsionnogo modelirovaniya dlya restavratsii ob'ektov kul'turnogo naslediya [Problems and Prospects for the Development of Information Modeling for Restoration of Cultural Heritage Objects]. *Academia. Architecture and Construction*. 2024;3: 171–175. (In Russian). DOI:10.22337/2077-9038-2024-3-171-175.
9. Mainicheva AYU, Gruzdeva EA, Orlova EYu. Metodika obmerov zdaniy metodom lazernogo skanirovaniya (na primere dvukh ob'ektov kul'turnogo naslediya Novosibirskoi oblasti) [Methods for Measuring Buildings Using Laser Scanning (on the Example of Two Objects of Cultural Heritage of the Novosibirsk Region)]. *Tomsk State University Journal of Cultural Studies and Art History*. 2023;51: 258–269. (In Russian). DOI:10.17223/22220836/51/22.
10. Listkov NS, Naserddin K. Ispol'zovanie sovremennykh priborov i tekhnologii dlya geodezicheskogo obespecheniya restavratsii arkhitekturno-istoricheskikh pamyatnikov [The Use of Modern Instruments and Technologies for the Geodetic Support of Architectural-Historical Monument Restoration]. *Prospects for the Development of Engineering Surveys in Construction in the Russian Federation: Proceedings of the Fourteenth All-Russian Scientific-Practical Conference and Exhibition of Surveying Organizations, Moscow, December 11–14, 2018*. Moscow: Geomarketing; 2018: 695–701. (In Russian).
11. Pugacheva PA, Danilov AK. Modelirovanie ob'ekta v srede Autodesk Revit [Modeling an Object in an Environment Autodesk Revit]. *Science in the Modern World: The View of Young Scientists: Proceedings of the VIII International Scientific-Practical Conference, Grozny, May 27–28, 2022*. Grozny: Chechen State Pedagogical University; 2022: 666–673. (In Russian).
12. Yang G, Meng W, Dong G, et al. Ispol'zovanie klyuchevykh toчек i linii izobrazheniya v zadache vizual'no-inertsial'noi odometrii v real'nom vremeni

- [Real-Time Visual-Inertial Odometry Based on Point-Line Feature Fusion]. *Gyroscopy and Navigation*. 2023;31(4): 96–117. (In Russian).
13. Solomatin VA. Prostranstvenno-chastotnye kharakteristiki lazernykh skanerov [Spatial-Frequency Characteristics of Laser Scanners]. *Opticheskii Zhurnal*. 2020;87(4): 19–27. (In Russian). DOI:10.17586/1023-5086-2020-87-04-19-27.
 14. Malinov VA, Pavlov NI, Popikov VS, et al. Sverkhbystroe skanirovanie prostranstva impul'sno-periodicheskim chirpirovannym lazernym izlucheniem po dvum ortogonal'nym koordinatam [Ultra-Fast Scanning of Space by Pulse-Periodic Chirped Laser Radiation Along Two Orthogonal Coordinates]. *Opticheskii Zhurnal*. 2025;92(1): 21–29. (In Russian). DOI:10.17586/1023-5086-2025-92-01-21-29.
 15. Stugirev ID, Astafieva NS. Ispol'zovanie lazernogo skanirovaniya kak sposoba sbora dannykh pri sozdanii informatsionnoi modeli zdaniya [Use of Laser Scanning as a Method of Data Collection in Creating a Building Information Model]. *Science Week of ISI: Proceedings of the All-Russian Conference*. In 3 parts. Part 2. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS; 2021: 201–203. (In Russian).
 16. Serezhkin VD, Asmankina AA, Bausova AA. Sravnitel'noe issledovanie mobil'nogo lazernogo skanirovaniya, nazemnogo lazernogo skanirovaniya i mobil'noi fotogrammetrii dlya obsledovaniya zheleznodorozhnoi infrastruktury [Comparative Study of Mobile Laser Scanning, Terrestrial Laser Scanning and Mobile Photogrammetry for Railway Infrastructure Inspection]. *Current State, Problems and Prospects for the Development of Industry Science: Proceedings of the IX All-Russian Conference with International Participation*. Moscow: Dashkov and K, 2025: 476–479. (In Russian).
 17. Rudenko AA, Cherny VA. Otsenka faktorov i metodika kontrolya kachestva rabot pri stroitel'stve i remonte zdanii s ispol'zovaniem nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Assessment of Factors and Methodology for Quality Control of Work During Construction and Repair of Buildings Using Terrestrial Laser Scanning]. *Bulletin of Civil Engineers*. 2025;6(113): 42–57. (In Russian). DOI:10.23968/1999-5571-2025-22-6-42-57.
 18. Syaglov YuI. Nazemnoe lazernoe skanirovanie i BIM-proektirovanie pri obsledovanii, monitoringe i rekonstruktsii zdanii [Terrestrial Laser Scanning and BIM-Design in Inspection, Monitoring and Reconstruction of Buildings]. *Investments, Urban Planning, Technologies as Drivers of Socio-Economic Development of the Territory and Improving the Quality of Life of the Population: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference*. In 2 parts. Part 2. Tomsk: TSUACE, 2026: 174–179. (In Russian).
 19. Noskov IV, Anashkina AE, Cherepanov DN, et al. Ekspertnaya otsenka praktikuemykh sistem nazemnogo lazernogo skanirovaniya dlya obespecheniya bezopasnoi ekspluatatsii ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva [Expert Evaluation of Practiced Ground-Based Laser Scanning Systems to Ensure Safe Operation of Facilities Capital Construction]. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(6): 1–16. (In Russian). Available from: <https://esj.today/PDF/28SAVN625.pdf> (Accessed 11 June 2025).
 20. Sheremetinsky AV. Sravnitel'nyi analiz primeneniya nazemnogo i SLAM-skanirovaniya pri obsledovanii stroitel'nykh konstruksii [Comparative Analysis of the Use of Terrestrial and SLAM Scanning in Inspection of Building Structures]. *Current Issues and Innovations in Inspection of Building Structures of Buildings and Structures: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Krasnoyarsk: SFU; 2025: 11–15. (In Russian).

authors **Alexandr N. Gusev**

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geodesy, Faculty of Geodesy

 0009-0001-6370-932X

Hassan H. Nasreddin

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geodesy, Faculty of Geodesy

PhD in Engineering, Associate Professor

 0009-0001-1806-7831

Submitted: June 19, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.



Влияние погрешностей угловых элементов внешнего ориентирования снимков на точность определения координат точек местности

А.Д. Бояренкова¹✉

¹ Научный геоинформационный центр Российской академии наук, Москва, Россия
✉ boiarenkova@mail.ru

цитирование

Бояренкова А.Д. Влияние погрешностей угловых элементов внешнего ориентирования снимков на точность определения координат точек местности // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 50–59. DOI:10.30533/GiA-2026-015.

ключевые слова

оценка точности, угловые элементы внешнего ориентирования, беспилотный летательный аппарат, ошибка внешнего ориентирования, плановые координаты

аннотация

Настоящее исследование посвящено разработке и верификации аналитических выражений для оценки влияния погрешностей углов внешнего ориентирования α , ω , κ на точность определения плановых координат точек местности по снимкам, полученным с беспилотных летательных аппаратов. На основе дифференцирования уравнений коллинеарности выведены формулы зависимости ошибок в координатах точек местности от погрешностей в углах наклона и разворота снимков. Проведенное исследование базируется на методах математического моделирования, в рамках которого была разработана модель, учитывающая элементы внутреннего и внешнего ориентирования макетных снимков, координаты опорных точек объекта съемки, а также координаты их соответствующих изображений на макетных снимках. Математическая обработка модели осуществлялась на основе данных макетного снимка. В результате расчетов были количественно оценены погрешности определения плановых координат точек на равнинной и горной местности при максимально допустимых углах, а также при значениях, наиболее часто используемых для целей картографирования. Доказана возможность применения выведенных формул при различных условиях съемки, что позволяет прогнозировать точность определения координат точек местности и оптимизировать параметры аэрофотосъемки. Полученные результаты имеют практическую значимость для использования материалов аэросъемки, выполняемой с помощью беспилотных летательных аппаратов, при создании цифровых моделей местности на труднодоступную (или со сложным рельефом) территорию, при выполнении кадастровых работ и в иных прикладных областях, требующих высокоточного картографического обеспечения.

1 Введение

В современных беспилотных авиационных системах (БАС) ошибки угловых элементов внешнего ориентирования (ЭВО) являются значимым фактором, влияющим на погрешности плановых координат точек местности, определяемых фотограмметрическими методами [1]. Наиболее перспективным направлением минимизации данных погрешностей является применение инерциальных навигационных систем, которые обеспечивают точность измерений на уровне $0,01^\circ$. Однако точность определения угловых параметров ЭВО подвержена влиянию различных дестабилизирующих факторов: динамических возмущений платформы (вибрации и угловые колебания беспилотного летательного аппарата [БПЛА] в полете); вариаций атмосферных условий, воздействующих на стабильность сенсоров; погрешностей калибровки инерциальных и оптико-электронных компонентов системы; систематических ошибок самокалибровки съёмочной камеры [2–6].

Особая значимость точного определения ЭВО возникает при выполнении высокоточных геодезических измерений, где даже незначительные угловые отклонения приводят к существенным плановым и высотным искажениям координат точек местности [7, 8].

Анализ влияния погрешностей угловых параметров ЭВО на точность определения координат объектов съёмки позволяет:

- оценить предельно достижимую точность фотограмметрической системы;
- сформулировать обоснованные технические требования к компонентам БАС;
- оптимизировать состав измерительного комплекса для конкретных задач аэрофотосъёмки.

В ходе проведенного исследования применен математический аппарат для оценки влияния погрешностей углов внешнего ориентирования (α , ω , κ) аэроснимков на точность определения координат точек местности. Эти соотношения позволяют прогнозировать точность фотограмметрических измерений в зависимости от технических параметров съёмочной системы.

2 Материалы и методы

Целью данной работы является оценка влияния погрешностей измерения углов наклона и разворота снимка, полученного с БПЛА, на точность определения плановых координат точек местности. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) выведены формулы, описывающие связь между погрешностями углов α , ω , κ и плановых координат на основе уравнений коллинеарности;
- 2) проведен вычислительный эксперимент для оценки величины смещения плановых координат:
 - при экстремальных значениях углов и погрешностях определения угловых ЭВО на равнинной местности;
 - типичных значениях угловых ЭВО на равнинной местности;
 - реальных значениях углов наклона и разворота снимка в горной местности;
 - экстремальных значениях углов съёмки в горной местности.

2.1 Теоретическое обоснование

Исходными уравнениями служат уравнения коллинеарности, связывающие координаты точки на местности X , Y , Z с координатами ее изображения на снимке x , y и ЭВО X_S^Γ , Y_S^Γ , Z_S^Γ , α , ω , κ [9]:

$$\left. \begin{aligned} X^\Gamma &= X_S^\Gamma + (Z^\Gamma - Z_S^\Gamma) \frac{a_1(x-x_0)+a_2(y-y_0)-a_3f}{c_1(x-x_0)+c_2(y-y_0)-c_3f}, \\ Y^\Gamma &= Y_S^\Gamma + (Z^\Gamma - Z_S^\Gamma) \frac{b_1(x-x_0)+b_2(y-y_0)-b_3f}{c_1(x-x_0)+c_2(y-y_0)-c_3f}, \end{aligned} \right\}$$

где $X^\Gamma, Y^\Gamma, Z^\Gamma$ — координаты точки местности;
 $X_S^\Gamma, Y_S^\Gamma, Z_S^\Gamma$ — линейные ЭВО снимка;
 x, y — координаты изображения точки местности, измеренные на снимке;
 x_0, y_0, f — элементы внутреннего ориентирования снимка;
 a_i, b_i, c_i — направляющие косинусы, являющиеся функциями угловых ЭВО снимка α, ω, κ (2).

2 ➤

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \cos \alpha \cos \kappa - \sin \alpha \sin \omega \sin \kappa, \\ a_2 &= -\cos \alpha \sin \kappa - \sin \alpha \sin \omega \cos \kappa, \\ a_3 &= -\sin \alpha \cos \omega, \\ b_1 &= \cos \omega \sin \kappa, \\ b_2 &= \cos \omega \cos \kappa, \\ b_3 &= -\sin \omega, \\ c_1 &= \sin \alpha \cos \kappa + \cos \alpha \sin \omega \sin \kappa, \\ c_2 &= -\sin \alpha \sin \kappa + \cos \alpha \sin \omega \cos \kappa, \\ c_3 &= \cos \alpha \cos \omega. \end{aligned} \right\}$$

Для оценки влияния малых погрешностей угловых ЭВО $\delta_\alpha, \delta_\omega, \delta_\kappa$ на координаты X и Y применен метод частных производных к уравнениям коллинеарности. Предполагалось, что координаты главной точки снимка x_0, y_0 , фокусное расстояние f , координаты центра проекции и высота съёмки определены точно, а погрешности в высоте точки Z^Γ пренебрежимо малы по сравнению с влиянием угловых погрешностей. Для упрощения при дифференцировании по каждому из углов принято предположение, что значения двух других равны нулю, тогда

3 ➤

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial X^\Gamma}{\partial \alpha} &= -(Z^\Gamma - Z_S^\Gamma) \frac{\Delta x^2 + f^2}{(\Delta x \sin \alpha - f \cos \alpha)^2}, \\ \frac{\partial Y^\Gamma}{\partial \alpha} &= -(Z^\Gamma - Z_S^\Gamma) \Delta y \frac{\Delta x \cos \alpha + f \sin \alpha}{(\Delta x \sin \alpha - f \cos \alpha)^2}, \\ \frac{\partial X^\Gamma}{\partial \omega} &= -(Z^\Gamma - Z_S^\Gamma) \Delta x \frac{\Delta y \cos \omega + f \sin \omega}{(\Delta y \sin \omega - f \cos \omega)^2}, \\ \frac{\partial Y^\Gamma}{\partial \omega} &= -(Z^\Gamma - Z_S^\Gamma) \frac{\Delta y^2 + f^2}{(\Delta y \sin \omega - f \cos \omega)^2}, \\ \frac{\partial X^\Gamma}{\partial \kappa} &= \frac{(Z^\Gamma - Z_S^\Gamma)}{f} (\Delta x \sin \kappa + \Delta y \cos \kappa), \\ \frac{\partial Y^\Gamma}{\partial \kappa} &= \frac{(Z^\Gamma - Z_S^\Gamma)}{f} (\Delta y \sin \kappa - \Delta x \cos \kappa). \end{aligned} \right\}$$

Итоговая суммарная погрешность по каждой из координат вычисляется по формулам

4 ➤

$$\left. \begin{aligned} \delta X &= \frac{\partial X^\Gamma}{\partial \alpha} \delta_\alpha + \frac{\partial X^\Gamma}{\partial \omega} \delta_\omega + \frac{\partial X^\Gamma}{\partial \kappa} \delta_\kappa, \\ \delta Y &= \frac{\partial Y^\Gamma}{\partial \alpha} \delta_\alpha + \frac{\partial Y^\Gamma}{\partial \omega} \delta_\omega + \frac{\partial Y^\Gamma}{\partial \kappa} \delta_\kappa, \end{aligned} \right\}$$

где $\delta_\alpha, \delta_\omega, \delta_\kappa$ — погрешности определения угловых ЭВО снимка.

Формулы вычисления погрешности координат точек местности при известных погрешностях угловых ЭВО будут иметь вид

5 ➤

$$\left. \begin{aligned} M_{\Delta X} &= \sqrt{\left(\frac{\partial X^\Gamma}{\partial \alpha} m_\alpha\right)^2 + \left(\frac{\partial X^\Gamma}{\partial \omega} m_\omega\right)^2 + \left(\frac{\partial X^\Gamma}{\partial \kappa} m_\kappa\right)^2}, \\ M_{\Delta Y} &= \sqrt{\left(\frac{\partial Y^\Gamma}{\partial \alpha} m_\alpha\right)^2 + \left(\frac{\partial Y^\Gamma}{\partial \omega} m_\omega\right)^2 + \left(\frac{\partial Y^\Gamma}{\partial \kappa} m_\kappa\right)^2}, \end{aligned} \right\}$$

где $m_\alpha, m_\omega, m_\kappa$ — средние квадратические погрешности (СКП) определения углов наклона и разворота снимков, выраженные в радианах.

2.2 Экспериментальное исследование

Для верификации формул были использованы макетные снимки со следующими параметрами: фокусное расстояние камеры $f = 35$ мм, высота съемки $H = 350$ м, размер матрицы 24×36 мм. По полю снимка равномерно распределены 25 контрольных точек [10]. Погрешность определения углов внешнего ориентирования снимков с БПЛА с использованием инерциального измерительного устройства (*англ.* Inertial Measurement Unit, IMU) составляет от $0,01^\circ$ до $0,1^\circ$ в угловых величинах измерений. Высокоточные IMU на основе микро-электромеханических систем обеспечивают точность порядка $0,1^\circ$, а специализированные гироскопы могут достигать погрешностей порядка нескольких тысячных долей градуса (около $0,005^\circ$). В реальных условиях погрешности могут увеличиваться из-за вибраций, помех магнитного поля и внешних факторов, поэтому обычно точность составляет около $0,05$ – $0,1^\circ$ для массовых БПЛА в коммерческом применении [11–14]. В данной работе было выбрано значение погрешности, составляющее $0,1^\circ$.

С целью подтверждения корректности аналитических формул для оценки влияния погрешностей определения значений угловых ЭВО проведены экспериментальные исследования. Были проверены два метода:

- 1) эталонный (прямое вычисление по уравнениям коллинеарности);
- 2) аналитические формулы.

Экспериментальные исследования были проведены на горизонтальном снимке равнинной местности. Результаты показали, что сходимость методов составила 100 %. Далее был проведен анализ при экстремальных значениях углов и погрешностей определения угловых ЭВО на равнинной местности. ГОСТ Р 59328-2021¹ определяет предельные допустимые значения углов наклона (крен и тангаж) снимков $\alpha = \omega = 13^\circ$, угол разворота снимка (рысканье) не регламентируется. Рассмотрен наихудший случай съемки $\kappa = -45^\circ$. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 

Погрешности определяемых точек макетного снимка при $\alpha = \omega = 13^\circ$, $\kappa = -45^\circ$

Table 1

Errors of the determined points on the model image at an inclination angle

$\alpha = \omega = 13^\circ$, $\kappa = -45^\circ$

Точка	ΔX_1 , м	ΔX_2 , м	ΔX	Отклонение аналитического метода от эталонного, %	ΔY_1 , м	ΔY_2 , м	ΔY	Отклонение аналитического метода от эталонного, %
6	0,553	0,609	0,056	10	0,360	0,328	-0,032	9
11	0,576	0,595	0,019	3	0,533	0,483	-0,050	9
12	0,679	0,693	0,015	2	0,504	0,471	-0,033	7
16	0,613	0,611	-0,002	0	0,706	0,652	-0,053	8
17	0,701	0,704	0,004	1	0,673	0,626	-0,046	7
18	0,788	0,791	0,003	0	0,659	0,612	-0,047	7
19	0,876	0,871	-0,004	0	0,664	0,611	-0,053	8
21	0,665	0,655	-0,010	2	0,879	0,835	-0,044	5
22	0,738	0,744	0,007	1	0,841	0,796	-0,045	5
23	0,810	0,827	0,017	2	0,823	0,768	-0,055	7
24	0,882	0,903	0,020	2	0,823	0,752	-0,071	9
СКП	0,724	0,734	—	—	0,696	0,647	—	—

Примечание. Здесь и далее ΔX_1 , ΔY_1 — погрешности координат точек, рассчитанные по уравнениям коллинеарности; ΔX_2 , ΔY_2 — погрешности координат точек, рассчитанные по уравнениям (4); ΔX , ΔY — расхождения между методами.

1 ГОСТ Р 59328-2021. Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2021. 45 с.

Таблица 2 

Погрешности определяемых точек макетного снимка при $\alpha = \omega = 3^\circ$, $\kappa = 5^\circ$

Table 2

Errors of the determined points on the model image at an inclination angle $\alpha = \omega = 3^\circ$, $\kappa = 5^\circ$

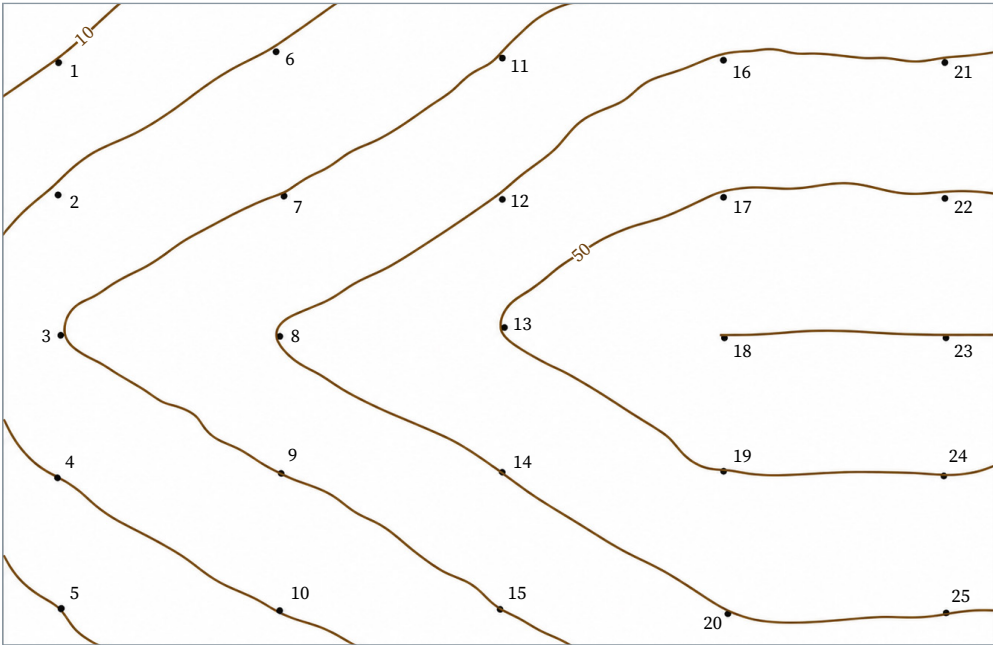
Точка	ΔX_1 , м	ΔX_2 , м	ΔX	Отклонение аналитического метода от эталонного, %	ΔY_1 , м	ΔY_2 , м	ΔY	Отклонение аналитического метода от эталонного, %
6	0,425	0,420	-0,005	1	0,480	0,500	0,020	4
7	0,536	0,528	-0,007	1	0,444	0,456	0,012	3
8	0,646	0,641	-0,006	1	0,433	0,437	0,004	1
9	0,757	0,756	0,000	0	0,446	0,444	-0,002	0
11	0,461	0,466	0,005	1	0,627	0,631	0,004	1
12	0,553	0,554	0,001	0	0,592	0,593	0,001	0
13	0,645	0,645	0,000	0	0,580	0,579	-0,001	0
14	0,736	0,739	0,003	0	0,592	0,590	-0,001	0
16	0,501	0,505	0,004	1	0,776	0,760	-0,016	2
17	0,574	0,572	-0,001	0	0,739	0,726	-0,013	2
18	0,646	0,643	-0,003	1	0,726	0,718	-0,009	1
19	0,719	0,717	-0,002	0	0,737	0,733	-0,004	1
21	0,544	0,537	-0,007	1	0,925	0,886	-0,039	4
22	0,597	0,585	-0,012	2	0,887	0,858	-0,029	3
23	0,651	0,636	-0,015	2	0,873	0,853	-0,020	2
24	0,705	0,691	-0,014	2	0,883	0,873	-0,010	1
СКП	0,614	0,610	—	—	0,691	0,682	—	—

Рис. 1 

Расположение определяемых точек на плановом макетном снимке

Fig. 1

Location of the determined points on the planimetric model image



Параметры съемки аналогичны предыдущему исследованию. Погрешности определяемых точек при углах съемки $\alpha = \omega = 3^\circ$, $\kappa = 5^\circ$ приведены в табл. 3, при экстремальных углах съемки $\alpha = \omega = 13^\circ$, $\kappa = -45^\circ$ — в табл. 4.

Точка	ΔX_1 , м	ΔX_2 , м	ΔX	Отклонение аналитического метода от эталонного, %	ΔY_1 , м	ΔY_2 , м	ΔY	Отклонение аналитического метода от эталонного, %
6	0,454	0,449	-0,005	1	0,502	0,522	0,021	4
7	0,545	0,538	-0,007	1	0,452	0,464	0,012	3
8	0,637	0,631	-0,006	1	0,425	0,429	0,004	1
9	0,766	0,765	0,000	0	0,454	0,452	-0,002	0
11	0,471	0,476	0,005	1	0,635	0,639	0,004	1
12	0,544	0,545	0,001	0	0,584	0,584	0,001	0
13	0,617	0,617	0,000	0	0,555	0,554	-0,001	0
14	0,727	0,730	0,003	0	0,583	0,582	-0,001	0
16	0,492	0,497	0,005	1	0,768	0,752	-0,016	2
17	0,547	0,546	-0,001	0	0,715	0,702	-0,013	2
18	0,600	0,597	-0,004	1	0,685	0,676	-0,009	1
19	0,691	0,688	-0,002	0	0,713	0,709	-0,004	1
21	0,536	0,529	-0,007	1	0,917	0,878	-0,039	4
22	0,572	0,559	-0,013	2	0,863	0,833	-0,030	3
23	0,606	0,589	-0,016	3	0,832	0,812	-0,020	2
24	0,676	0,661	-0,015	2	0,858	0,848	-0,010	1
СКП	0,599	0,595	—	—	0,677	0,668	—	—

Таблица 3

Погрешности точек гористой местности при углах съемки $\alpha = \omega = 3^\circ$, $\kappa = 5^\circ$

Table 3

Errors of ground points in rugged-terrain areas at an image tilt angle $\alpha = \omega = 3^\circ$, $\kappa = 5^\circ$

Таблица 4

Погрешности точек гористой местности при углах съемки $\alpha = \omega = 13^\circ$, $\kappa = -45^\circ$

Table 4

Errors of ground points in rugged-terrain areas at an image tilt angle $\alpha = \omega = 13^\circ$, $\kappa = -45^\circ$

Точка	ΔX_1 , м	ΔX_2 , м	ΔX	Отклонение аналитического метода от эталонного, %	ΔY_1 , м	ΔY_2 , м	ΔY	Отклонение аналитического метода от эталонного, %
6	0,587	0,643	0,056	9	0,380	0,348	-0,032	8
11	0,587	0,606	0,019	3	0,539	0,490	-0,050	9
12	0,667	0,682	0,015	2	0,498	0,464	-0,033	7
16	0,603	0,600	-0,003	0	0,699	0,646	-0,053	8
17	0,668	0,671	0,003	0	0,652	0,607	-0,045	7
18	0,733	0,736	0,003	0	0,624	0,579	-0,044	7
19	0,842	0,838	-0,004	0	0,643	0,590	-0,052	8
21	0,655	0,645	-0,010	2	0,873	0,830	-0,043	5
22	0,707	0,713	0,007	1	0,821	0,779	-0,042	5
23	0,756	0,775	0,019	2	0,788	0,737	-0,051	6
24	0,849	0,871	0,022	3	0,802	0,732	-0,070	9
СКП	0,701	0,713	—	—	0,681	0,634	—	—

3 Результаты и обсуждение

Для определения СКП плановых координат точек местности использовалась формула Гаусса. В результате СКП эталонного метода составили $m_x = 0,724$ м, $m_y = 0,696$ м, СКП аналитического метода — $m_x = 0,734$ м, $m_y = 0,647$ м. Проведенные исследования показали, что оба метода дают равнозначный результат. Очевидно, что на равнинной местности оба метода показывают хорошую согласованность как при стандартных, так и при экстремальных значениях угловых ЭВО, что подтверждает применимость формул для равнинной местности.

Результаты при аналогичных углах наклона и разворота снимка для точек, расположенных на макетном снимке с выраженным рельефом, свидетельствуют о том, что даже в условиях горного рельефа аналитические формулы обеспечивают хороший результат. Итоговые СКП точек оказались меньше, чем при использовании эталонного метода. При данных условиях съемки даже на гористой местности максимальное отклонение погрешности каждой точки составило менее 10 % от эталонного метода.

Таким образом, при рассматриваемых условиях съемки формулы показывают хорошую согласованность с эталонным методом, что дает возможность использовать их для оценки вклада погрешностей каждого углового ЭВО в суммарную погрешность определения плановых координат точек местности. Это повышает достоверность прогнозирования точности определения координат точек местности по снимкам, полученным с БПЛА.

4 Выводы

В рамках настоящего исследования были применены аналитические зависимости, количественно описывающие влияние погрешностей определения угловых ЭВО снимков, полученных с БАС, на точность определения плановых координат точек местности. Примененный математический аппарат учитывает вариации угловых параметров ориентации снимка α , ω , κ и особенности рельефа местности. Полученные формулы позволяют оценить вклад угловых погрешностей в суммарную ошибку определения координат точек местности для различных аэрофотосъемочных работ. Это дает возможность заранее прогнозировать точность фотограмметрических измерений, а также оптимизировать параметры полета и съемки для достижения требуемой точности картографических материалов.

Актуальность проведенного исследования определяется возрастающими требованиями к точности и оперативности геодезических и картографических работ, выполняемых с использованием БПЛА. Разработанные аналитические зависимости могут выступать частью теоретической основы для предварительной оценки влияния угловых погрешностей на точность создаваемой картографической продукции, дополняя комплексные методы моделирования аэросъемки и фотограмметрической обработки.

библиография

1. Sanz-Abianedo E., Chandler J.H., Rodríguez-Pérez J.R., et al. Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used // Remote Sensing. 2018. Vol. 10. Iss. 10. P. 1606. DOI:10.3390/rs10101606.
2. Шейников А.А., Коваленко А.М., Санько А.А. Точность определения координат беспилотного летательного аппарата с навигационным комплексом, включающим оптико-электронную систему позиционирования // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2023. Т. 26, № 1. С. 81–94. DOI:10.26467/2079-0619-2023-26-1-81-94.
3. Сергушов И.В., Ермаков Р.В., Ульянина Ю.А. и др. Анализ источников погрешностей навигационной системы малого беспилотного летательного

- аппарата // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза: ПГУ, 2018. Т. 2. С. 53–57.
4. Ahmed S., El-Shazly A., Abed F., et al. The Influence of Flight Direction and Camera Orientation on the Quality Products of UAV-Based SfM-Photogrammetry // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. Iss. 20. P. 10492. DOI:10.3390/app122010492.
 5. Cledat E., Cucci D.A., Skaloud J. Camera Calibration Models and Methods for Corridor Mapping with UAVs // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020. Vol. V-1-2020. P. 231–238. DOI:10.5194/isprs-annals-V-1-2020-231-2020.
 6. Gabara G., Sawicki P. Multi-Variant Accuracy Evaluation of UAV Imaging Surveys: A Case Study on Investment Area // *Sensors*. 2019. Vol. 19. Iss. 23. P. 5229. DOI:10.3390/s19235229.
 7. Шипко В.В. Алгоритм коррекции геометрических искажений гиперспектральных изображений, формируемых в условиях угловых колебаний беспилотного летательного аппарата // *Автометрия*. 2023. Т. 59, № 2. С. 41–48. DOI:10.15372/AUT20230205.
 8. Андронов В.Г., Чуев А.А., Князев А.А. Модель параметров отклонений маршрута полета беспилотных летательных аппаратов от заданной траектории // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2021. Т. 25, № 4. С. 145–161. DOI:10.21869/2223-1560-2021-25-4-145-161.
 9. Kedzierski M., Delis P. Fast Orientation of Video Images of Buildings Acquired from a UAV without Stabilization // *Sensors*. 2016. Vol. 16. Iss. 7. P. 951. DOI:10.3390/s16070951.
 10. Комиссаров А.В., Дедкова В.В. Анализ методик создания макетных снимков для проверки точности фотограмметрических построений // *Вестник СГУТиТ*. 2021. Т. 26, № 2. С. 47–55. DOI:10.33764/2411-1759-2021-26-2-47-55.
 11. Маммадов А.З. Модель инерциальной навигации для беспилотных летательных аппаратов // *Universum: технические науки*. 2021. № 5 (86). С. 1–5. DOI:10.32743/UniTech.2021.86.5.11683.
 12. Liu Y., Li Z., Zheng S., et al. An Evaluation of MEMS-IMU Performance on the Absolute Trajectory Error of Visual-Inertial Navigation System // *Micromachines*. 2022. Vol. 13. Iss. 4. P. 602. DOI:10.3390/mi13040602.
 13. Ding W., Jiang Y., Lyu Z., et al. Improved Attitude Estimation Accuracy by Data Fusion of a MEMS MARG Sensor and a Low-Cost GNSS Receiver // *Measurement*. 2022. Vol. 194. P. 111019. DOI:10.1016/j.measurement.2022.111019.
 14. Шейников А.А., Малкин В.А., Смоленский Э.А. и др. Оптико-электронная корреляционно-экстремальная навигационная система малого беспилотного летательного аппарата // *Системный анализ и прикладная информатика*. 2024. № 2. С. 30–40. DOI:10.21122/2309-4923-2024-2-30-40.
 15. Bi R., Gan S., Yuan X., et al. Studies on Three-Dimensional (3D) Accuracy Optimization and Repeatability of UAV in Complex Pit-Rim Landforms as Assisted by Oblique Imaging and RTK Positioning // *Sensors*. 2021. Vol. 21. Iss. 23. P. 8109. DOI:10.3390/s21238109.

автор**Бояренкова Алина Дмитриевна**ФГБУН «Научный геоинформационный центр Российской академии наук»
(НГИЦ РАН), Москва, Россия 0000-0002-3869-6328

Поступила 22.10.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Influence of Errors in the Angular Elements of Exterior Orientation on the Accuracy of Ground Point Coordinate Determination

Alina D. Boyarenkova¹✉

¹ Geoinformation Research Centre, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
✉ boiarenkova@mail.ru

citation Boyarenkova AD. Influence of Errors in the Angular Elements of Exterior Orientation on the Accuracy of Ground Point Coordinate Determination. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 50–59. DOI:10.30533/GiA-2026-015.

keywords accuracy assessment, exterior orientation angles, unmanned aerial vehicle, exterior orientation error, planimetric coordinates

abstract This study addresses the development and validation of analytical expressions for assessing the influence of errors in exterior orientation angles α , ω , κ on the accuracy of determining the planimetric coordinates of ground points from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. By differentiating the collinearity equations, relationships were derived that quantify how inaccuracies in image tilt and rotation angles propagate into ground coordinate errors. The research employs mathematical modeling, incorporating both interior and exterior orientation parameters of simulated images, the coordinates of ground control points, and their corresponding image measurements. The mathematical analysis was performed using simulated imagery data. Quantitative estimates were obtained for planimetric coordinate errors over flat and mountainous terrain, considering both maximum allowable and commonly used orientation angles in mapping practice. The proposed analytical formulas have been shown to be applicable under various imaging conditions, enabling the prediction of positioning accuracy and optimization of aerial survey parameters. The results are of practical relevance for UAV-based photogrammetric applications, including digital terrain model generation in remote and rugged areas, cadastral surveying, and other geospatial tasks requiring high-accuracy mapping.

- references**
1. Sanz-Abianedo E, Chandler JH, Rodríguez-Pérez JR, et al. Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used. *Remote Sensing*. 2018;10(10): 1606. DOI:10.3390/rs10101606.
 2. Sheinikov AA, Kovalenko AM, Sanko AA. Tochnost' opredeleniya koordinat bespilotnogo letatel'nogo apparata s navigatsionnym kompleksom, vklyuchayushchim optiko-elektronnuyu sistemu pozitsionirovaniya [Accuracy of Determining the Coordinates

- of an Unmanned Aerial Vehicle with a Navigation Complex Including an Optoelectronic Positioning System]. *Scientific Bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation*. 2023;26(1): 81–94. (In Russian). DOI:10.26467/2079-0619-2023-26-1-81-94.
3. Sergushov IV, Ermakov RV, Ul'yanina YuA, et al. Analiz istochnikov pogreshnostei navigatsionnoi sistemy malogo bespilotnogo letatel'nogo apparata [Analysis of Error Sources in the Navigation System of a Small Unmanned Aerial Vehicle]. *Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. Penza: PSU; 2018(2): 53–57. (In Russian).
 4. Ahmed S, El-Shazly A, Abed F, et al. The Influence of Flight Direction and Camera Orientation on the Quality Products of UAV-Based SfM-Photogrammetry. *Applied Sciences*. 2022;12(20): 10492. DOI:10.3390/app122010492.
 5. Cledat E, Cucci DA, Skaloud J. Camera Calibration Models and Methods for Corridor Mapping with UAVs. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020;V-1-2020: 231–238. DOI:10.5194/isprs-annals-V-1-2020-231-2020.
 6. Gabara G, Sawicki P. Multi-Variant Accuracy Evaluation of UAV Imaging Surveys: A Case Study on Investment Area. *Sensors*. 2019;19(23): 5229. DOI:10.3390/s19235229.
 7. Shipko VV. Algoritm korrektsii geometricheskikh iskazhenii giperspektral'nykh izobrazhenii, formiruemykh v usloviyakh uglovykh kolebaniy bespilotnogo letatel'nogo apparata [Algorithm for Correction of Geometric Distortions of Hyperspectral Images Formed under Angular Oscillations of an Unmanned Aerial Vehicle]. *Avtometriya*. 2023;59(2): 41–48. (In Russian). DOI:10.15372/AUT20230205.
 8. Andronov VG, Chuev AA, Knyazev AA. Model' parametrov otklonenii marshruta poleta bespilotnykh letatel'nykh apparatov ot zadannoi traektorii [Model of Flight Path Deviation Parameters of Unmanned Aerial Vehicles from the Prescribed Trajectory]. *Proceedings of the Southwest State University*. 2021;25(4): 145–161. (In Russian). DOI:10.21869/2223-1560-2021-25-4-145-161.
 9. Kedzierski M, Delis P. Fast Orientation of Video Images of Buildings Acquired from a UAV without Stabilization. *Sensors*. 2016;16(7): 951. DOI:10.3390/s16070951.
 10. Komissarov AV, Dedkova VV. Analiz metodik sozdaniya maketnykh snimkov dlya proverki tochnosti fotogrammetricheskikh postroenii [Analysis of Methods for Creating Model Images to Verify the Accuracy of Photogrammetric Constructions]. *Vestnik SSUGT*. 2021;26(2): 47–55. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2021-26-2-47-55.
 11. Mammadov AZ. Model' inertsiyal'noi navigatsii dlya bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Inertial Navigation Model for Unmanned Aerial Vehicles]. *Universum: Technical Sciences*. 2021;5(86): 1–5. (In Russian). DOI:10.32743/UniTech.2021.86.5.11683.
 12. Liu Y, Li Z, Zheng S, et al. An Evaluation of MEMS-IMU Performance on the Absolute Trajectory Error of Visual-Inertial Navigation System. *Micromachines*. 2022;13(4): 602. DOI:10.3390/mi13040602.
 13. Ding W, Jiang Y, Lyu Z, et al. Improved Attitude Estimation Accuracy by Data Fusion of a MEMS MARG Sensor and a Low-Cost GNSS Receiver. *Measurement*. 2022;194: 111019. DOI:10.1016/j.measurement.2022.111019.
 14. Sheinikov AA, Malkin VA, Smolensky EA, et al. Optiko-elektronnaya korrelyatsionno-ekstremal'naya navigatsionnaya sistema malogo bespilotnogo letatel'nogo apparata [Optoelectronic Correlation – Extreme Navigation System for a Small Unmanned Aerial Vehicle]. *System Analysis and Applied Information Science*. 2024;2: 30–40. (In Russian). DOI:10.21122/2309-4923-2024-2-30-40.
 15. Bi R, Gan S, Yuan X, et al. Studies on Three-Dimensional (3D) Accuracy Optimization and Repeatability of UAV in Complex Pit-Rim Landforms as Assisted by Oblique Imaging and RTK Positioning. *Sensors*. 2021;21(23): 8109. DOI:10.3390/s21238109.

author Alina D. Boyarenkova

Geoinformation Research Centre, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

 0000-0002-3869-6328

Submitted: October 22, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.



Картографирование малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях

А.С. Варущенко¹✉, М.В. Нырцов¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
✉ asvar2000@mail.ru

цитирование

Варущенко А.С., Нырцов М.В. Картографирование малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 60–70. DOI:10.30533/GiA-2026-016.

ключевые слова

внеземная картография, малое тело Солнечной системы, математическая картография, многогранная проекция, трехосный эллипсоид

аннотация

Последние достижения в области исследований внеземного пространства, связанные с получением высокодетальных данных о малых телах Солнечной системы, ставят перед картографами задачу по наглядному отображению этих объектов. Обычно для картографирования крупных небесных тел достаточно проекций, описываемых единым набором параметров и одним главным масштабом. Однако к малым телам данный подход может быть неприменим. Одним из решений этой задачи может стать использование многогранных проекций. В рамках статьи обосновывается применение многогранных проекций для картографирования малых тел Солнечной системы, а также описываются особенности составления таких карт. Предлагается методика составления карт в многогранных проекциях трехосного эллипсоида, состоящая из нескольких этапов: разработки математической основы, выбора перечня классов проекций, подготовки разграфки и номенклатуры карт. В результате представлена технология, основывающаяся на данной методике, опробованная при создании карт в многогранных проекциях трехосного эллипсоида на примере карт астероидов (4) Веста и (25143) Итокава. Эти карты состоят соответственно из трех (азимутальных, конических и цилиндрических) и из двух (азимутальных и конических) классов проекций.

1 Введение

Большинство современных карт Земли и других небесных тел составляются в проекциях, уравнения которых описываются одним набором параметров и характеризуются наличием одного главного масштаба картографируемой территории. Однако существуют случаи, когда подобных проекций с единым набором характеристик бывает недостаточно. Например, при значительном объеме полученных для картографирования данных с высокой детальностью целесообразно разделить карту на несколько листов, а территории, отображаемые на этих листах, следует показывать в разных проекциях. В подобных случаях для картографирования могут использоваться проекции, параметры которых подобраны для каждого отдельного листа или группы листов многолистной карты. Эти проекции называют многогранными. Возможность получения высокодетальных данных о поверхностях небесных тел сделала актуальным применение многогранных проекций для картографирования не только Земли, но и малых тел Солнечной системы [1]. Подобная проблематика ставит новые задачи для внеземной картографии¹.

2 Материалы и методы

В зависимости от физических характеристик небесных тел и способов получения информации о них можно выделить несколько групп внеземных объектов, для которых составлялись карты в многогранных проекциях.

К первой группе можно отнести планеты Солнечной системы. Самые первые карты в многогранных проекциях были составлены для этой категории небесных тел. Планеты — достаточно крупные внеземные объекты, поэтому на них были получены высокодетальные данные. В первую очередь объектами картографирования стали планеты земной группы. Поскольку большинство фигур планет (в том числе и Земли) достигли гидростатического равновесия, в геодезических и картографических целях они аппроксимируются референц-поверхностью сферы или эллипсоида вращения. Среди примеров карт планет в многогранных проекциях можно назвать американскую геологическую карту Меркурия, выполненную в 1983 году², и карту поверхности Венеры из советского Атласа поверхности Венеры 1989 года³.

Ко второй группе относятся естественные спутники. Поскольку они вращаются вокруг планет или астероидов, данные для их картографирования часто получают в рамках космических программ, связанных с изучением более крупных тел, т. е. самих планет или астероидов. Зачастую естественные спутники, подобно планетам, обладают сферическими фигурами, которые аппроксимируются точно так же референц-поверхностью сферы или эллипсоида вращения [2]. Однако существуют естественные спутники, характеризующиеся фигурой с двумя сжатиями: полярным и экваториальным. В этом случае Международный астрономический союз рекомендует применять для математического описания их фигур референц-поверхность трехосного эллипсоида [3]. К примерам карт естественных спутников в многогранных проекциях сферы можно отнести карты спутников Сатурна Рея и Диона, выпущенные Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического

1 Астрономия: век XXI / ред.-сост. В.Г. Сурдин. 3-е изд., испр. и доп. Фрязино: Век 2, 2015. 605 с.

2 McGill G.E., King E.A. Geologic Map of the Victoria Quadrangle of Mercury. U.S. Geological Survey, 1983. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.usgs.gov/maps/geologic-map-victoria-quadrangle-mercury> (дата обращения: 20.11.2025).

3 Атлас поверхности Венеры / отв. ред. А.Ф. Золотов. 1 : 10 000 000, 1 : 4 000 000. М.: ГУГК, 1989. 328 с.

института (*англ.* Jet Propulsion Laboratory)^{4,5}. Особого внимания заслуживает фотокарта спутника Марса Деймос, составленная Ф. Стуком⁶. В отличие от большинства карт подобных тел, она была создана с использованием проекции трехосного эллипсоида.

К третьей группе можно отнести малые тела Солнечной системы, картографирование которых в многогранных проекциях началось относительно недавно. Все остальные тела, кроме спутников, называются малыми телами Солнечной системы. Это большинство астероидов, комет и объектов пояса Койпера, некоторые из них являются кандидатами в карликовые планеты [4, с. 24–28]. Их фигуры в большинстве своем значительно отличаются от сферы и нерегулярны. В соответствии с рекомендациями Международного астрономического союза, для их аппроксимации следует применять референц-поверхность трехосного эллипсоида [3]. Как и в случае с естественными спутниками планет, из-за сложности вычислений использование данной референц-поверхности достаточно ограничено, а для большинства карт подобных небесных тел применяют, как и прежде, референц-поверхности сферы или эллипсоида вращения.

Важно отметить, что из-за отсутствия детальных данных о малых телах Солнечной системы количество исследований, посвященных их картографированию в многогранных проекциях, меньше, чем работ о планетах и естественных спутниках. Однако в последние годы в связи с увеличением количества научных программ, направленных на изучение малых небесных тел (например, полеты межпланетных станций DART в 2021 году, Psyche в октябре 2023 года и Hera с октября 2024 года), объем высокодетальных данных для этих небесных тел неуклонно растет, а картографирование малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях трехосного эллипсоида становится актуальным вопросом для внеземной картографии.

Остановимся на особенностях составления карт малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях, рассмотрев их в сравнении с картографированием планет и естественных спутников. На этапе разработки математической основы будущей карты необходимо установить референц-поверхность. Для большинства фигур малых небесных тел трехосный эллипсоид выступает первичной поверхностью, а сфера и эллипсоид вращения рассматриваются как его частные случаи. При наличии данных Международный астрономический союз рекомендует использовать установленные параметры трехосного эллипсоида, которые определяются размерами полярной, а также больших и малых экваториальных полуосей. Некоторые из малых небесных тел обладают сдвоенной фигурой, сформировавшейся в результате соединения двух отдельных тел [5], поэтому необходимо использовать особый подход при их аппроксимации и картографировании. Единая фигура разделяется на отдельные крупные участки. Для каждого из них подбираются индивидуальные параметры референц-поверхности и своя картографическая проекция. Например, при картографировании ядра кометы 67P/Чурюмова — Герасименко были установлены референц-поверхности для большой, малой долей и шеи, а также соответствующие картографические проекции [6]. Здесь возникает задача выбора многогранных проекций как для тела целиком, так и для его частей.

При интеграции данных для карт малых тел необходимо учитывать разнообразие систем координат трехосного эллипсоида. Обычно данные находятся в системе планетоцентрических координат. Существуют также планетографические (геодезические) и условно-геодезические системы координат, различающиеся

4 The Rhea Atlas. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia12806-the-rhea-atlas> (дата обращения: 19.11.2025).

5 The Dione Atlas. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia12827-the-dione-atlas/> (дата обращения: 19.11.2025).

6 Stooke Small Bodies Maps. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sbnarchive.psi.edu/pds3/multi_mission/MULTI_SA_MULT1_6_STOOCKEMAPS_V3_0/document/m2deimos/layout.jpg (дата обращения: 19.11.2025).

по способам задания. Игнорирование пересчета координат из одной системы в другую приводит к ошибкам в отображении данных.

Выбор перечня классов проекций зависит от размеров небесного тела [7]. Если картографируемый объект является достаточно крупным (например, планета или относительно большой естественный спутник), то его поверхность обычно разделяют на три широтных пояса. В этом случае для полярных областей используют азимутальные проекции, для высоких (приполярных) областей и средних широт — конические, а для экваториальных и приэкваториальных — цилиндрические. Такой подход целесообразно применять и при картографировании малых тел Солнечной системы. Однако, в отличие от крупных внеземных объектов, эти небесные тела могут обладать весьма малыми размерами по отношению друг к другу. Тогда можно ограничиться двумя классами проекций, например азимутальными и коническими. В случае, когда малое тело Солнечной системы обладает сложной фигурой, проекции определяются для каждого крупного участка поверхности индивидуально [6]. В целом целесообразно придерживаться принципа минимальной достаточности: берется столько проекций, сколько минимально необходимо для отображения всей поверхности небесного тела.

Вопрос разграфки и номенклатуры карт малых тел Солнечной системы также имеет свою специфику. Требуется определить границы листов многолистной карты в выбранной проекции и продумать общую схему компоновки всех листов. Выбор границ во многом зависит от размеров небесного тела и количества форм рельефа: не стоит допускать ситуаций, когда крупные формы рельефа попадают одновременно на несколько листов в различных проекциях. Допустим и так называемый арифметический подход к определению границ листов, когда они получаются путем разбиения на одинаковые трапеции протяженностью по широте, например в 30° . В этом случае для полярных областей в азимутальных проекциях можно выбрать в качестве границ поясов широты от -60° до -90° и от 60° до 90° , для экваториальных областей в цилиндрических проекциях — широты от -30° до 0° и от 0° до 30° , а для высоких и средних областей в конических проекциях в зависимости от размеров тела можно определить границы между широтами от -30° до -60° и от 30° до 60° (или от 0° до -60° и от 0° до 60° , если было принято решение не использовать цилиндрические проекции). Разбиение листов на трапеции протяженностью по долготе также производят, исходя из нагрузки карты формами рельефа или арифметического подхода и размера картографируемого объекта [8]. Необходимо также решить вопрос со взаимным перекрытием листов, чтобы обеспечить непрерывность показа поверхности. Для малых тел Солнечной системы после получения уточненных данных из космических полетов Международный астрономический союз может изменить положение нулевого меридиана, тогда возникает проблема по установлению новой разграфки и номенклатуры [9]. Такой случай будет рассмотрен ниже на примере карты астероида (4) Веста в многогранной проекции.

Для присвоения номенклатуры листам составляемой карты обычно рассматриваются ранее созданные карты в многогранной проекции. В этом случае номенклатура листов остается аналогичной им. Если таковые карты отсутствуют, то листу карты присваивается буквенно-цифровой индекс и название по определенным правилам [10]. Рассмотрим их на примере листов карт астероидов Юнона и Веста.

Вначале присваивается буквенный индекс, содержащий обозначения типа и названия небесного тела: например, *A* обозначает такой тип небесного тела, как астероид, *C* — комету и т. д., а следующая латинская буква берется из названия небесного тела (например, для астероида Юнона обозначение будет *Aj*). Далее указывается, с какой орбиты были получены данные, которые применялись при создании фотомозаики, использованной для составления карт: *H* — высокая (около 1950 км над поверхностью) картографическая орбита (*англ.* High Altitude Mapping Orbit, *НАМО*), *L* — низкая (до 850 км над поверхностью) картографическая орбита (*англ.* Low Altitude Mapping Orbit, *ЛАМО*). Космические изображения для составляемой фотомозаики могут быть получены с пролетающего мимо объекта космического аппарата в ходе исследования космического

пространства, тогда используется буква *S* (англ. Survey). Возможны и другие обозначения. Когда данные об источнике полученной фотомозаики отсутствуют, это обозначение в индексации листа пропускается. После буквенного индекса следует номер листа. Нумерация идет от положительного (северного) полюса с широтой 90° до отрицательного (южного) полюса с широтой -90° и от 0° до 360° по долготе (0° определяется Международным астрономическим союзом). Согласно рекомендациям Международного астрономического союза, долготы для карт малых тел Солнечной системы должны быть положительными. Первый лист обычно содержит участок поверхности в районе положительного полюса малого небесного тела, а последний — в районе отрицательного полюса. После индекса присваивается название идентифицируемого объекта (кратера, цепочки кратеров, гряды, борозды, равнины, уступа и т. д.), расположенного в пределах трапеции. Если такие значимые объекты на листе отсутствуют, то эта часть названия остается пустой. Таким образом, лист, названный Av-H-5 Bellicia, обозначает пятый лист с картой поверхности астероида (4) Веста, на котором расположен кратер Bellicia, а космические изображения для фотомозаики были получены по данным с высокой картографической орбиты.

Оформление карт малых тел Солнечной системы также имеет свои особенности. После трансформации фотомозаики в трапеции карты необходимо следить за отсутствием обратного эффекта на изображении поверхности, т. к. отдельные листы карты в многогранной проекции имеют разворот относительно исходной фотомозаики в квадратной цилиндрической проекции. Эффект проявляется в виде инверсии высот, когда положительные формы рельефа превращаются в отрицательные, и наоборот (например, кратер начинает выглядеть как холм и т. д.) [11]. В этом случае необходимо откорректировать изображение с помощью графических средств. Далее возможно нанесение тематической информации.

Актуальным является вопрос выбора шкалы для гипсометрических карт как малых небесных тел в многогранных проекциях, так и других типов небесных тел, для которых, с одной стороны, нет стандарта цветового решения, с другой — не принято использовать традиционные для Земли «природные» зелено-коричневые шкалы. Вместо них обычно выбираются такие цвета, которые ассоциируются с цветом поверхности небесного тела, определяемым по спектру отражения (например, шкала от светло- до темно-коричневого для Венеры или шкала серых оттенков для Луны). При отображении различных физических характеристик также принято использовать шкалы с «внеземными» или условными цветами: например, шкала с градацией от фиолетового к оранжевому или спектральная шкала для гравитационной карты небесного тела.

3 Результаты и обсуждение

Методические особенности создания карт в многогранной проекции были апробированы на примере составления карт малых тел Солнечной системы, различных по параметрам фигуры: относительно небольшого, но обладающего достаточно сложной фигурой астероида (25143) Итокава и крупного астероида (4) Веста, чья форма близка к сфероиду [12].

Международным астрономическим союзом были определены параметры референц-поверхности трехосного эллипсоида, аппроксимирующего фигуру астероида (4) Веста⁷: большая экваториальная полуось составила 289 км, малая экваториальная полуось — 280 км, полярная полуось — 229 км [3]. Принятая система координат планетоцентрическая, отсчет долгот идет на восток $E+$ от 0° до 360° .

⁷ Recommended Coordinate System for (4) Vesta / IAU WGCCRE, 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.usgs.gov/media/files/iau-wgcre-coordinate-system-vesta> (дата обращения: 20.11.2025).

При выборе классов проекций и компоновки составляемых карт (4) Весты было решено опираться на существующую фотокарту этого астероида в многогранной проекции сферы, выпущенную Институтом исследования Солнечной системы Общества Макса Планка (*англ.* Max Planck Institute for Solar System Research, MPS) при значительном участии Германского аэрокосмического центра (*нем.* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR)⁸, поэтому классы проекций было решено оставить прежними (азимутальными, коническими и цилиндрическими), но для трехосного эллипсоида. При выборе характера искажений использованы равнопромежуточные проекции и проекции, сохраняющие длины вдоль меридианов, как компромиссные варианты по искажениям между равноугольными и равновеликими. В связи с тем, что Международный астрономический союз обновил координатную систему для астероида, сместив нулевой меридиан на 30° , применение разграфки и названий листов ранее созданной фотокарты стало невозможным, т. к. многие объекты, названиями которых именовались листы, переместились [13]. Поэтому было решено предложить собственную разграфку и названия листов для новых фотокарт астероида (4) Веста с использованием арифметического подхода при определении границ листов. Там, где это возможно, использовались прежние названия и нумерация (например, лист Av-H-30 Rheasilvia, отображающий территорию вблизи отрицательного полюса, сохранил нумерацию и название). Если сохранение нумерации было невозможно, то применявшиеся названия объектов для листов были оставлены, но с другой нумерацией (например, название Marcia теперь используется для листа с номером 15, а не 12, как было на карте, составленной Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического института). В случае, когда объекты, использовавшиеся ранее для названий, не попадали на вновь составленный лист, то выбирались иные хорошо различимые объекты (рис. 1). Если на лист вообще не попадали объекты, то именная часть названия листа оставалась пустой (лист Av-H-24). При картографировании все обратные эффекты были исправлены с помощью графических средств. В итоге для астероида (4) Веста были получены 30 листов с отдельными фотокартами в планетоцентрической системе широт:

- в равнопромежуточных вдоль меридианов цилиндрических проекциях для приэкваториальных областей в диапазоне широт от -30° до 30° ;
- конических проекциях, сохраняющих длины вдоль меридианов, для средних широт в диапазоне широт от -30° до -60° и от 30° до 60° ;
- равнопромежуточных вдоль меридианов азимутальных проекциях для полярных областей в диапазоне широт от -60° до -90° и от 60° до 90° .

Рис. 1

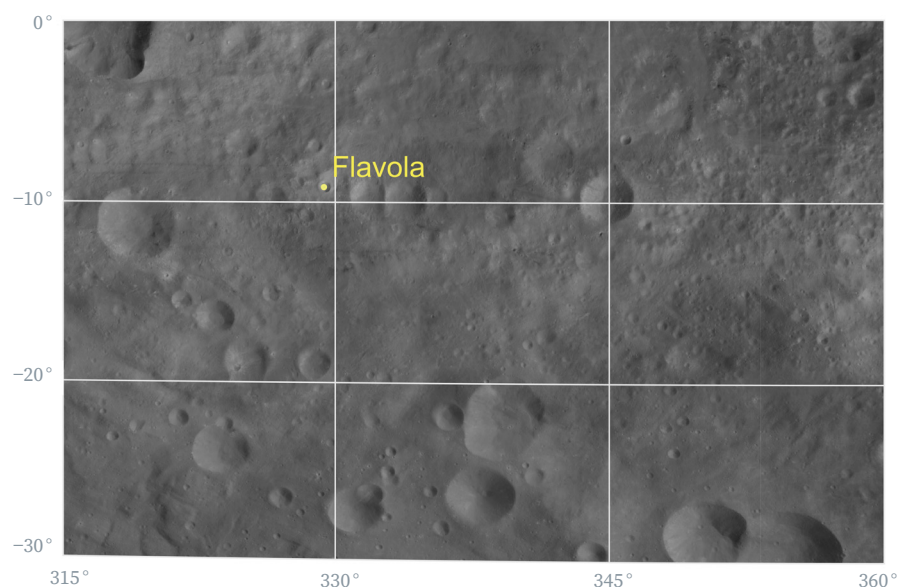
Лист Av-H-23 Flavola фотокарты астероида (4) Веста

Fig. 1

Photomap of asteroid (4) Vesta, list Av-H-23 Flavola

Условные обозначения

Flavola Кратер



8 The Vesta Atlas. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia17480-touring-the-giant-asteroid-vesta/> (дата обращения: 20.11.2025).

Рис. 2

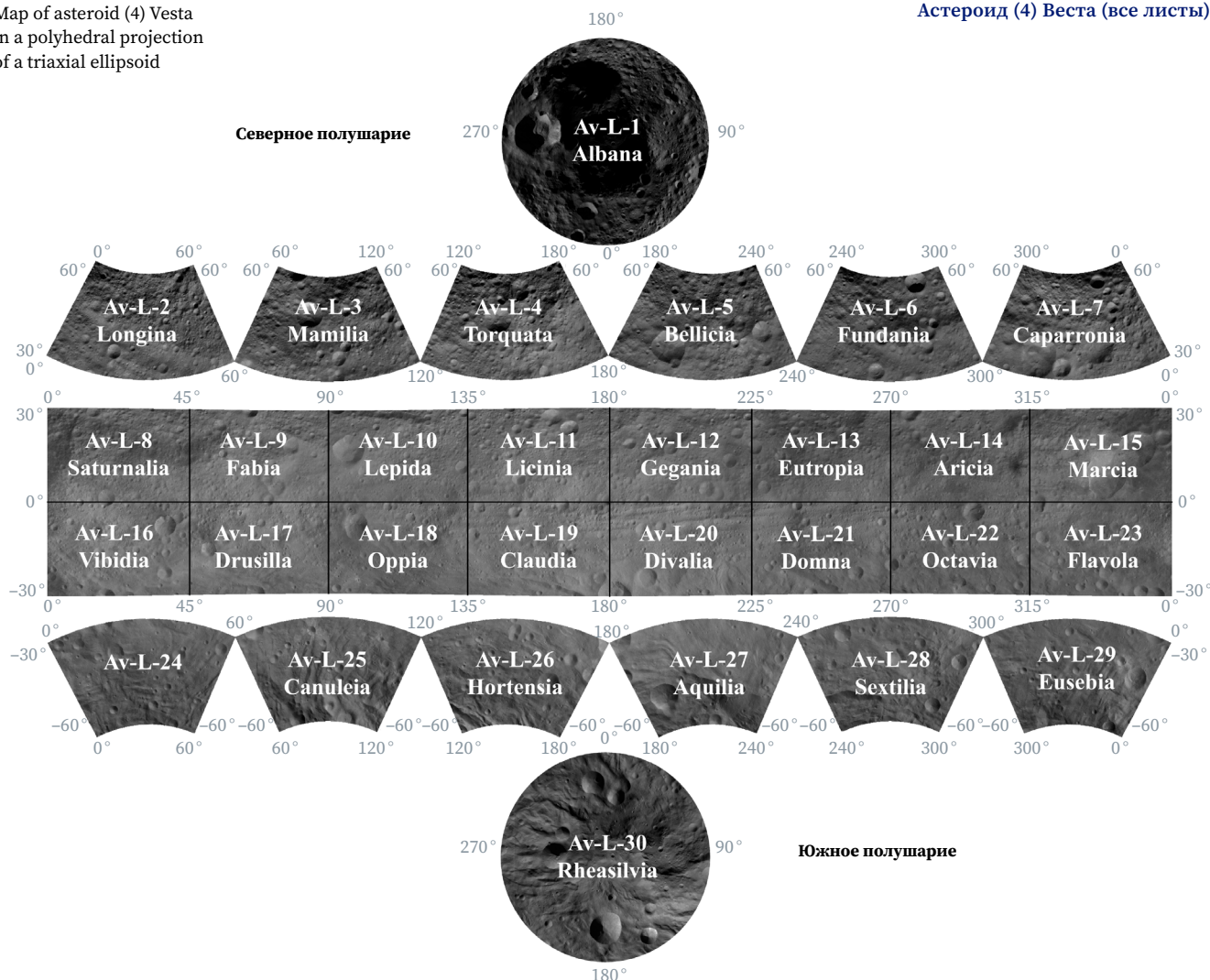
Карта астероида (4) Веста в многогранной проекции трехосного эллипсоида

Fig. 2

Map of asteroid (4) Vesta in a polyhedral projection of a triaxial ellipsoid

Была также создана одна общая карта в многогранной проекции (рис. 2) в планетоцентрической системе координат трехосного эллипсоида. Масштаб для разных листов многогранной карты был выбран согласно размеру небесного тела и классу проекции.

Астероид (4) Веста (все листы)



Согласно отчету Международного астрономического союза, для аппроксимации фигуры астероида (25143) Итокава был принят трехосный эллипсоид со следующими параметрами: большая экваториальная полуось составляет 268 м, малая экваториальная полуось — 147 м, полярная полуось — 104 м [14].

Система координат и направление отсчета долгот оставлены аналогично принятому для астероида (4) Веста на восток E+ от 0° до 360°. Поскольку ранее не было создано карт, которые можно было бы использовать в качестве источника при выборе классов проекций и компоновки для астероида (25143) Итокава в многогранной проекции, выбор проекций, разграфки и номенклатуры был сделан самостоятельно. Астероид (25143) Итокава является относительно небольшим внеземным объектом, который на порядок меньше астероида (4) Веста [15], поэтому было решено ограничиться не тремя, а двумя широтными поясами и двумя классами проекций: азимутальными для отображения полярных регионов и коническими для остальных широт. Введение цилиндрических проекций является избыточным и не сказывается на минимизации искажений в пределах экватора. При выборе проекций по характеру искажений предпочтение было отдано равнопромежуточным проекциям и проекциям, сохраняющим длины вдоль меридианов, как и для астероида (4) Веста, чтобы можно было сравнить полученные результаты. При определении границ листов был использован арифметический подход, т. к. на астероиде (25143) Итокава не так

много крупных кратеров, которые могут быть разделены на отдельные листы при данном подходе. В итоге были выбраны:

- конические проекции, сохраняющие длины вдоль меридианов, для средних и приэкваториальных широт в диапазоне широт от 0° до -60° и до 60° ;
- азимутальные проекции, равнопромежуточные вдоль меридианов, для полярных областей в диапазоне широт от -60° до -90° и от 60° до 90° .

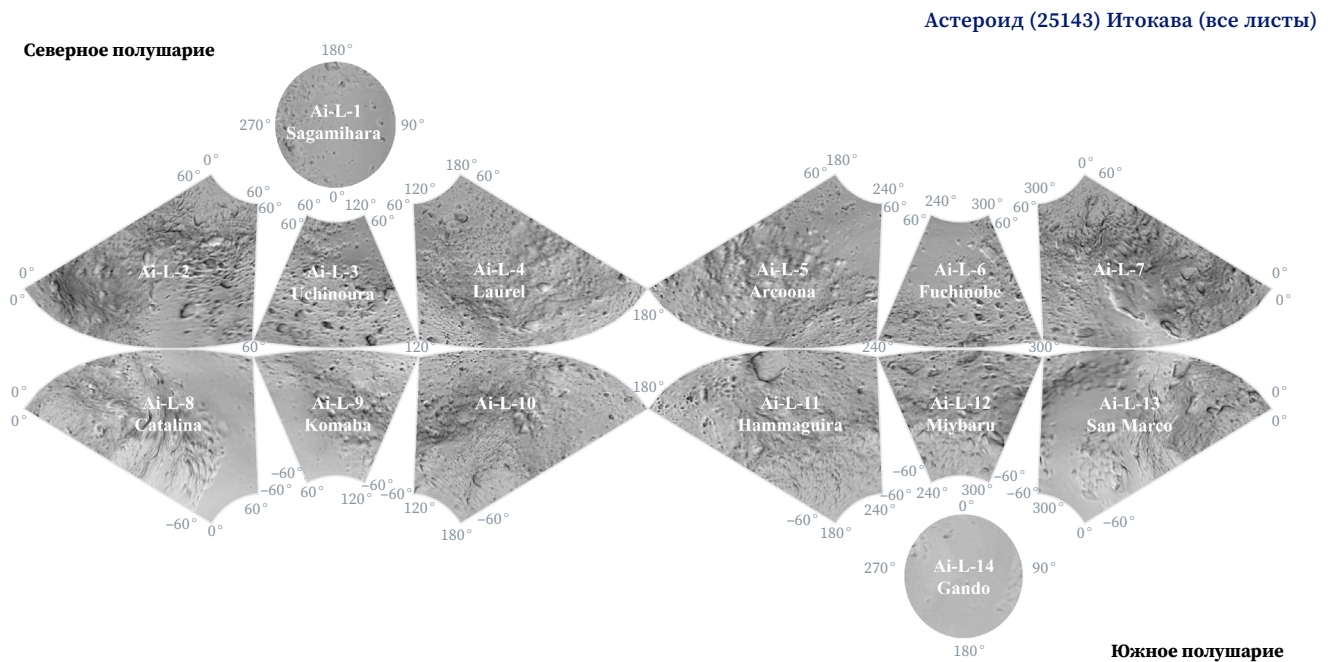
Поскольку на поверхности астероида (25143) Итокава расположено большое количество валунов, то обратные эффекты после трансформации космических изображений проявились в большом количестве, но были исправлены с помощью графических средств и приемов. В итоге для астероида (25143) Итокава были составлены 12 листов в конических проекциях, 2 листа в азимутальных проекциях и 1 общая карта в многогранной проекции (рис. 3) в планетоцентрической системе координат трехосного эллипсоида. Как и в случае с картами для астероида (4) Веста, масштаб для разных листов многогранной карты был выбран в соответствии с размером небесного тела и классом проекции.

Рис. 3

Карта астероида (25143) Итокава в многогранной проекции трехосного эллипсоида

Fig. 3

Map of asteroid (25143) Itokawa in a polyhedral projection of a triaxial ellipsoid



4 Выводы

Картографирование малых тел Солнечной системы в многогранных проекциях связано с появлением высокодетальных данных об этих небесных телах. Для картографирования малых тел Солнечной системы Международный астрономический союз в большинстве случаев рекомендует применять референц-поверхность трехосного эллипсоида. Все это ведет к учету специфики картографирования подобных небесных тел в многогранных проекциях трехосного эллипсоида (особенности формы малых тел Солнечной системы, разнообразие систем координат трехосного эллипсоида, правила выбора разграфки и номенклатуры и т. п.). Полученные в результате карты для различных по своим параметрам малых тел Солнечной системы подтверждают необходимость использования многогранных проекций.

благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 121051400061-9.

библиография

1. Guo S., Li L., Zhu F., et al. Integrated Design Method for Laser Topographic Mapping and Navigation of Small Celestial Bodies // Journal of Deep Space Exploration. 2022. Vol. 9. Iss. 4. P. 417–426. DOI:10.15982/j.issn.2096-9287.2022.20220041.

2. Карачевцева И.П., Савиных В.П., Коханов А.А. Атлас Фобоса: концепция, структура и принципы картографирования // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2015. № 4. С. 68–75.
3. Archinal B.A., Acton C.H., A'Hearn M.F., et al. Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements: 2015 // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. 2018. Vol. 130. P. 22. DOI:10.1007/s10569-017-9805-5.
4. Артемьева Н.А., Баканас Е.С., Барабанов С.И. и др. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра. М.: Физматлит, 2010. 384 с.
5. Rickman H., Marchi S., A'Hearn M.F., et al. Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko: Constraints on Its Origin from OSIRIS Observations // *Astronomy & Astrophysics*. 2015. Vol. 583. P. A44. DOI:10.1051/0004-6361/201526093.
6. Нырцов М.В., Флейс М.Э., Николаева Д.Д. и др. Картографирование небесных тел со сдвоенной фигурой в проекциях трехосного эллипсоида на примере бинарного ядра кометы 67P/Чурюмова — Герасименко // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2018. Т. 62, № 5. С. 507–516. DOI:10.30533/0536-101X-2018-62-5-514-523.
7. Burbine T.H., Greenwood R.C., Zhang B., et al. How Many Vesta-Like Bodies Existed in the Asteroid Belt? // *Meteoritics & Planetary Science*. 2024. Vol. 59. Iss. 4. P. 878–894. DOI:10.1111/maps.14134.
8. Kessler F.C., Battersby S.E. Working with Map Projections. Boca Raton: CRC Press, 2019. 299 p.
9. Shingareva K.B. Nomenclature of Planetary Surface Details: Current State and Problems // *Proceedings of the 24th International Cartographic Conference*. Santiago de Chile: ICA, 2009. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/nonref/26_5.pdf (дата обращения: 20.11.2025).
10. Савиных В.П., Карачевцева И.П., Родионова Ж.Ф. и др. Картографирование внеземных территорий: современные задачи космической топонимики // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2016. Т. 5. С. 63–67.
11. Hargitai H., Li C., Zhang Zh., et al. Chinese and Russian Language Equivalents of the IAU Gazetteer of Planetary Nomenclature: an Overview of Planetary Toponym Localization Methods // *The Cartographic Journal*. 2019. Vol. 56. Iss. 4. P. 335–354. DOI:10.1179/1743277413Y.0000000051.
12. Baer J., Steven R.C. Astrometric Masses of 21 Asteroids, and an Integrated Asteroid Ephemeris // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. 2008. Vol. 100. P. 27–42. DOI:10.1007/s10569-007-9103-8.
13. Raymond C.A., Asmar S.W., Konopliv A.S., et al. Geophysical Exploration of Vesta // *Proceedings of 43rd Lunar and Planetary Science Conference*. The Woodlands, 2012. P. 1007. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elib.dlr.de/76074/1/1007.pdf> (дата обращения: 20.11.2025).
14. Hirata N., Barnouin-Jha O.S., Honda C., et al. A Survey of Possible Impact Structures on 25143 Itokawa // *Icarus*. 2009. Vol. 200. Iss. 2. P. 486–502. DOI:10.1016/j.icarus.2008.10.027.
15. Susorney H.C.M., Johnson C.L., Barnouin O.S., et al. The Global Surface Roughness of 25143 Itokawa // *Icarus*. 2019. Vol. 325. P. 141–152. DOI:10.1016/j.icarus.2019.01.021.

авторы**Варущенко Александр Сергеевич**

ФГОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), Москва, Россия

кафедра картографии и геоинформатики, географический факультет

 0009-0003-0578-2785

Нырцов Максим Валерьевич

 nyrtsovmaxim@geogr.msu.ru

ФГОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), Москва, Россия

кафедра картографии и геоинформатики, географический факультет

д-р техн. наук, профессор

 0000-0002-2428-4381

Поступила 25.11.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Usage of Polyhedral Projections for Mapping Small Solar System Bodies

Aleksandr S. Varushchenko¹✉, Maxim V. Nyrtsov¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
✉ asvar2000@mail.ru

citation Varushchenko AS, Nyrtsov MV. Usage of Polyhedral Projections for Mapping Small Solar System Bodies. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 60–70. DOI:10.30533/GiA-2026-016.

keywords extraterrestrial cartography, small Solar system body, mathematical cartography, polyhedral projection, triaxial ellipsoid

abstract Recent advances in the field of extraterrestrial space research related to obtaining highly detailed data on small Solar system bodies pose a challenge for cartographers to visually display them. Usually, projections described by a single set of parameters and one main scale are sufficient for mapping large celestial bodies. However, this approach may not be sufficient for small bodies, so one solution to this problem may be the use of polyhedral projections. The article substantiates the use of polyhedral projections for mapping small Solar system bodies, and also provides the specifics of making these maps. A method of mapping in polyhedral projections of a triaxial ellipsoid is proposed, consisting of several stages, including the development of a mathematical basis, the selection of a list of projection classes, and the preparation of a map layout and nomenclature. As a result, a technology based on this technique is presented, tested when creating maps in polyhedral projections of a triaxial ellipsoid using the example of asteroid maps (4) Vesta, consisting of 3 projection classes (azimuthal, conical and cylindrical), and (25143) Itokawa, consisting of 2 projection classes (azimuthal and conical).

acknowledgements The research was carried out according to the state assignment No. 121051400061-9.

references 1. Guo S, Li L, Zhu F, et al. Integrated Design Method for Laser Topographic Mapping and Navigation of Small Celestial Bodies. *Journal of Deep Space Exploration*. 2022;9(4): 417–426. DOI:10.15982/j.issn.2096-9287.2022.20220041.

2. Karachevtseva IP, Savinykh VP, Kokhanov AA. Atlas Fobosa: kontseptsiya, struktura i printsiipy kartografirovaniya [Atlas of Phobos: Concept, Structure and Principles of Mapping]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2015;4: 68–75 (In Russian).
3. Archinal BA, Acton CH, A'Hearn MF, et al. Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements: 2015. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. 2018;130: 22. DOI:10.1007/s10569-017-9805-5.
4. Artem'eva NA, Bakanas ES, Barabanov SI, et al. *Asteroidno-kometnaya opasnost': vchera, segodnya, zavtra* [Asteroid-Comet Hazard: Yesterday, Today, Tomorrow]. Moscow: Fizmatlit Publ.; 2010. 384 p. (In Russian).
5. Rickman H, Marchi S, A'Hearn MF, et al. Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko: Constraints on Its Origin from OSIRIS Observations. *Astronomy & Astrophysics*. 2015;583: A44. DOI:10.1051/0004-6361/201526093.
6. Nyrtsov MV, Fleis ME, Nikolaeva DD, et al. Kartografirovaniye nebesnykh tel so sdvoennoi figuroi v proektsiyakh trekhosnogo ellipsoida na primere binarnogo yadra komety 67P/Churyumova – Gerasimenko [Mapping of Celestial Bodies with Bi-Lobate Shape in Triaxial Ellipsoid Projections on the Example of Binary Nucleus of the 67P/Churyumov-Gerasimenko Comet]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2018;62(5): 514–523. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2018-62-5-514-523.
7. Burbine TH, Greenwood RC, Zhang B, et al. How Many Vesta-Like Bodies Existed in the Asteroid Belt? *Meteoritics & Planetary Science*. 2024;59(4): 878–894. DOI:10.1111/maps.14134.
8. Kessler FC, Battersby SE. Working with Map Projections. Boca Raton; 2019. 299 p.
9. Shingareva Kira B. Nomenclature of Planetary Surface Details: Current State and Problems. *Proceedings of the 24th International Cartographic Conference*. Santiago de Chile: ICA; 2009. Available from: https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/nonref/26_5.pdf (Accessed 20 November 2025).
10. Savinykh VP, Karachevtseva IP, Rodionova ZhF, et al. Kartografirovaniye vnezemnykh territorii: sovremennye zadachi kosmicheskoi toponimiki [Extraterrestrial Cartography: Actual Problems of Space Toponymics]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2016;5: 63–67. (In Russian).
11. Hargitai H, Li C, Zhang Zh, et al. Chinese and Russian Language Equivalents of the IAU Gazetteer of Planetary Nomenclature: an Overview of Planetary Toponym Localization Methods. *The Cartographic Journal*. 2019;56(4): 335–354. DOI:10.1179/1743277413Y.0000000051.
12. Baer J, Steven RC. Astrometric Masses of 21 Asteroids, and an Integrated Asteroid Ephemeris. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. 2008;100: 27–42. DOI:10.1007/s10569-007-9103-8.
13. Raymond CA, Asmar SW, Konopliv AS, et al. Geophysical Exploration of Vesta. *Proceedings of 43rd Lunar and Planetary Science Conference*. The Woodlands; 2012: 1007. Available from: <https://elib.dlr.de/76074/1/1007.pdf> (Accessed 20 November 2025).
14. Hirata N, Barnouin-Jha OS, Honda C, et al. A Survey of Possible Impact Structures on 25143 Itokawa. *Icarus*. 2009;200(2): 486–502. DOI:10.1016/j.icarus.2008.10.027.
15. Susorney HCM, Johnson CL, Barnouin OS, et al. The Global Surface Roughness of 25143 Itokawa. *Icarus*. 2019;325: 141–152. DOI:10.1016/j.icarus.2019.01.021.

authors Aleksandr S. Varushchenko

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
 Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography
 ID 0009-0003-0578-2785

Maxim V. Nyrtsov

✉ nyrtsovmaxim@geogr.msu.ru
 Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
 Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography
 Dr. of Sci. (Engineering), Professor
 ID 0000-0002-2428-4381

Submitted: November 25, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.



Технологический радар формирования отечественного интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием

Н.Р. Камынина¹✉, Д.С. Логинов¹

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Россия
✉ rector@miigaik.ru

цитирование Камынина Н.Р., Логинов Д.С. Технологический радар формирования отечественного интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 71–90. DOI:10.30533/GiA-2026-022.

ключевые слова недропользование, геоинформационное управление, технологический радар, отечественное программное обеспечение, пространственные данные, цифровые двойники, Майнинг 4.0, технологическая готовность, импортонезависимость

аннотация В данной статье рассматривается проблема технологической реализуемости интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием на отечественной программной, инфраструктурной и аналитической базе. Показано, что формирование такого контура не может быть сведено к внедрению отдельных геоинформационных систем (ГИС), горно-геологических информационных систем, средств трехмерного моделирования или цифровых двойников. Его развертывание требует согласованного развития нескольких технологических слоев: вычислительной и облачной инфраструктуры, системного программного обеспечения, пространственных и геолого-геофизических данных, ГИС и геосервисов, горно-геологического моделирования, ресурсной оценки, планирования, операционного мониторинга, платформенной интеграции, инструментов искусственного интеллекта и машинного обучения, кибербезопасности и управленческо-экономической аналитики. В качестве авторского результата предложен технологический радар формирования отечественного интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием, позволяющий соотнести необходимые технологические слои с имеющимися российскими решениями и выявить зоны технологической готовности, фрагментации и приоритетного развития. Двухуровневая логика оценки позволяет соотносить каждый функциональный слой интегрированного

контура с укрупненным уровнем технологической готовности и уточнять наличие отечественных решений. Показаны результаты оценки инфраструктурного, системного и информационного уровней, сводный технологический радар, по которому установлена ключевая проблема недостаточной интеграционной зрелости отечественных решений. Предложены этапы дальнейшего развития отечественного интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием.

1 Введение

Развитие цифровых технологий в недропользовании все в меньшей степени может рассматриваться как задача внедрения отдельных программных продуктов. Для отрасли, которая работает с пространственно распределенными объектами и для которой характерны длительные циклы геолого-разведочных и производственных работ, высокая стоимость ошибок интерпретации и значительный объем архивной геолого-геофизической информации, принципиальное значение приобретает не сама по себе цифровизация картографических материалов, а связность данных, моделей, сервисов и управленческих решений.

В современных работах по картографическому обеспечению и геоинформационному сопровождению недропользования достаточно подробно раскрываются вопросы создания цифровых картографических продуктов, геоинформационных проектов, баз пространственных данных, веб-картографических сервисов, геоинформационного моделирования и цифрового геологического картографирования [1, 2]. Однако менее проработанным остается вопрос об отечественной технологической базе, в рамках которой может быть разработан и развернут интегрированный контур геоинформационного управления, обеспечивающий не только хранение и отображение пространственных данных, но и их использование в цикле «данные — модели — ресурсная оценка — планирование — исполнение — мониторинг — экономическая оценка — повторное использование результатов».

Данная проблема имеет не только технологическое, но и управленческо-экономическое содержание. Наличие государственных информационных ресурсов, отечественных геоинформационных систем (ГИС), горно-геологических информационных систем, средств планирования, диспетчеризации или отдельных элементов цифровых двойников еще не гарантирует возможности реализации интегрированного контура. Более существенным является вопрос о том, могут ли эти решения быть собраны в сквозную архитектуру, в которой государственные и корпоративные данные, геологические модели, проектные сценарии, фактическое исполнение работ, мониторинг отклонений и экономическая оценка связаны между собой технологически, организационно и методически.

В российской практике уже сформированы отдельные компоненты такого контура. К ним относятся государственные системы пространственных и геологических данных, отечественные программные решения для ГИС-поддержки, горно-геологического моделирования, подсчета запасов, планирования горных работ, полевого сбора информации, диспетчеризации и управления производственными данными [1, 3, 4]. Вместе с тем наличие отдельных компонентов не тождественно наличию интегрированного контура. Между инфраструктурой, системным программным обеспечением, фондами данных, корпоративными ГИС, гео моделями, планированием, мониторингом, аналитикой и экономической оценкой могут сохраняться разрывы, которые снижают управленческий эффект цифровизации.

В этой связи представляется необходимым разработать технологический радар и целевую архитектуру отечественного интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием. Под технологическим радаром в данном исследовании понимается инструмент систематизации и оценки технологических слоев, необходимых для развертывания интегрированного контура:

от инфраструктуры и системного программного обеспечения до геоинформационных сервисов, моделей, операционного мониторинга, платформенной интеграции, инструментов искусственного интеллекта (*англ.* Artificial Intelligence, AI) и машинного обучения (*англ.* Machine Learning, ML), кибербезопасности и ключевых показателей эффективности (*англ.* Key Performance Indicators, KPI) управленческой результативности. Технологические радары зарекомендовали себя достаточным инструментом для оценки состояния и перспектив обеспечения технологического суверенитета государства и отраслей экономики [5–9].

Цель статьи заключается в разработке технологического радары формирования отечественного интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием, позволяющего определить состав необходимых технологических слоев, оценить представленность российских решений и выявить направления, требующие приоритетного развития.

Для достижения поставленной цели в ходе исследования решены следующие задачи:

- уточнено содержание интегрированного контура геоинформационного управления как объекта технологического проектирования;
- определены функциональные слои технологического радары;
- предложены критерии оценки технологической готовности отечественных решений;
- систематизированы российские инфраструктурные, программные, геоинформационные, горно-геологические, аналитические и платформенные компоненты;
- выявлены разрывы между имеющимися решениями и требованиями сквозного управленческого контура;
- сформировано направление дальнейшего развития отечественной технологической базы геоинформационного управления недропользованием.

2 Материалы и методы

Методологическую основу исследования составляют системный, процессный, архитектурный и функционально-экономический подходы, а информационную базу — научные работы о геоинформационных системах, Майнинге 4.0, цифровых двойниках, пространственных данных, об управлении геонаучной информацией и технологических платформах; материалы российских государственных информационных систем; открытые сведения о российских разработчиках программного обеспечения для геологии, горного дела, ГИС, планирования, диспетчеризации, аналитики и кибербезопасности; данные реестров отечественного программного обеспечения и отраслевые публикации.

Научная новизна статьи заключается в разработке технологического радары формирования отечественного интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием на базе отечественного программного обеспечения, технологий и информационной инфраструктуры. В отличие от подходов, ограничивающихся перечислением отдельных программных продуктов или классов цифровых технологий, предложенный авторами радар позволяет оценивать отечественные решения по их месту в целевой архитектуре и уровню готовности к обеспечению сквозного управленческого цикла [10]. Это позволяет выявить не только наличие или отсутствие отдельных технологических компонентов, но и степень их связности, интеграционный потенциал и способность обеспечивать управленческо-экономический эффект в недропользовании.

3 Результаты и обсуждение

3.1. Интегрированный контур геоинформационного управления недропользованием как объект технологического проектирования

Объектом проектирования в данной статье является многоуровневая технологическая архитектура, в которой должны быть согласованы инфраструктура, данные, модели, прикладные сервисы, операционные процессы, средства аналитики, контуры информационной безопасности и механизмы оценки управленческого эффекта. Такой подход соответствует общей логике архитектурного проектирования сложных цифровых систем. В стандартах и референсных моделях цифровой трансформации архитектура рассматривается не как схема размещения отдельных информационных систем, а как способ описания связей между заинтересованными сторонами, требованиями, данными, приложениями, технологической инфраструктурой и процедурами управления изменениями. Для недропользования это особенно существенно, поскольку отраслевой цикл включает последовательность взаимозависимых стадий: формирование и актуализацию пространственных и геолого-геофизических данных, геологическую интерпретацию, построение моделей, ресурсную оценку, планирование работ, исполнение, мониторинг, отчетность, экономическую оценку и повторное использование результатов. Ряд технологических этапов геологоразведки опирается на соответствующее геоинформационное обеспечение принятия управленческих решений в недропользовании и природопользовании [11, 12] и поиск оптимальных решений по созданию геологических моделей месторождений [11, 13].

В этой логике интегрированный контур геоинформационного управления следует рассматривать как сквозную сервисную архитектуру, обеспечивающую переход от разрозненных данных и локальных моделей к связанному циклу принятия решений. Его минимальный состав включает несколько слоев, а именно: инфраструктурный; системного программного обеспечения; пространственных, геологических и геофизических данных; ГИС и геосервисов; горно-геологического и трехмерного (3D) моделирования; ресурсной оценки и планирования; операционного мониторинга; платформенной интеграции; AI- и ML-аналитики; кибербезопасности; управленческо-экономических KPI (рис. 1).

Рис. 1 ✓

Сквозной цикл и технологические слои интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием

Fig. 1

End-to-end cycle and technological layers of the integrated geoinformation management system for subsoil use



В центре такого контура находится управленческий цикл недропользования: «данные — модели — ресурсная оценка — планирование — исполнение — мониторинг — экономическая оценка — повторное использование результатов». Его принципиальное отличие от традиционного набора информационных систем состоит в том, что результаты каждого этапа не замыкаются внутри отдельного программного продукта, а возвращаются в общий контур данных, моделей и последующих решений.

Рассмотрим слои интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием.

1. Инфраструктурный слой является базовым, поскольку без вычислительных мощностей, систем хранения, сетевого контура, облачной среды, средств резервирования и мониторинга невозможно обеспечить устойчивую работу данных, моделей и сервисов. Для недропользования это означает, что технологический контур должен проектироваться не только сверху (от аналитики и моделей), но и снизу (от инфраструктурной способности хранить и обрабатывать большие массивы пространственных, геофизических, спутниковых, проектных и производственных данных).
2. Слой системного программного обеспечения обеспечивает функционирование прикладных систем: операционных систем, систем управления базами данных (СУБД), средств виртуализации и контейнеризации, инструментов резервного копирования, журналирования, мониторинга, интеграционного обмена и управления доступом.
3. Слой данных включает государственные и корпоративные источники пространственной, геологической, геофизической, инфраструктурной, экологической и производственной информации [1, 14, 15]. Его задача состоит не только в хранении массивов данных, но и в обеспечении их идентификации, метаданных, версионности, прослеживаемости происхождения, качества и прав доступа к ним. В рамках сквозного цикла этот слой имеет особое значение, поскольку именно данные выступают исходной точкой моделирования и одновременно принимают обратно результаты мониторинга, экономической оценки и повторного использования.
4. Слой ГИС и геосервисов обеспечивает пространственную консолидацию информации, картографическое представление, веб-доступ, полевую работу, интеграцию данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и полученных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), пространственный анализ и передачу результатов между участниками проекта. Здесь картографическое обеспечение переходит от статического продукта к сервисной форме: карта, цифровой слой или ГИС-проект становятся рабочим интерфейсом доступа к данным, моделям и ограничениям территории [2].
5. Слой 3D-геомоделирования переводит пространственные и геолого-геофизические данные в представление о строении объекта недр, неопределенности интерпретации, ресурсном потенциале и вариантах дальнейших работ. Геонаучное моделирование в рамках этого слоя формирует интерпретационную и ресурсную основу последующих управленческих решений.
6. Слой ресурсной оценки и планирования связывает геологическую модель с проектными и экономически значимыми параметрами. В нем формируются сценарии дальнейшей разведки, варианты разработки, параметры горных работ, потребность в ресурсах, сроки и ограничения. Для интегрированного контура принципиально, чтобы ресурсная оценка и планирование не существовали изолированно от данных, моделей и фактического исполнения. Иначе геологическая модель остается техническим результатом, но не становится полноценным основанием для управленческого выбора.
7. Слой операционного мониторинга обеспечивает связь между планом и фактом. В него входят диспетчеризация, полевой сбор данных, контроль за выполнением работ, данные оборудования, спутниковый и БПЛА-мониторинг, источники Интернета вещей, контроль над инфраструктурой

и фиксации отклонений. Именно этот слой превращает управленческий цикл из линейной последовательности решений в обратную связь, т. е. результаты исполнения и мониторинга возвращаются в контур данных, моделей, планирования и экономической оценки.

8. Платформенный слой отвечает за интеграцию указанных компонентов в единую среду. Его задача состоит в обеспечении связности. Это программный интерфейс приложений (*англ.* Application Programming Interface, API), шины данных, общие рабочие пространства, управление версиями, метаданные, интеграция используемых устаревших систем (*legacy-систем*), обмен между государственными и корпоративными источниками, возможность повторного использования данных и моделей.
9. Слой AI- и ML-аналитики необходим для классификации данных, выявления пространственных закономерностей, поддержки интерпретации, прогнозирования отклонений и сценарной оценки [14, 16]. Применение этих инструментов должно быть встроено в контур качества данных, экспертной проверки и оценки неопределенности.
10. Слой кибербезопасности обеспечивает доверенный обмен пространственными, геологическими, производственными и экономическими данными.
11. Слой управленческо-экономических KPI позволяет оценивать не сам факт внедрения цифрового решения, а его влияние на управленческий цикл (например, время доступа к данным, долю повторно используемой информации, снижение дублирования исследований, срок подготовки решений, число проектных корректировок, уровень прослеживаемости и связь геомоделей с экономической оценкой проекта).

Таким образом, представленная на рис. 1 концепция архитектуры показывает, что технологический радар должен оценивать не только наличие отдельных отечественных решений, но и их способность обеспечивать прохождение сквозного управленческого цикла.

3.2. Методика построения технологического радара формирования отечественного интегрированного контура

Необходимость разработки специального подхода к оценке отечественной технологической базы обусловлена спецификой недропользования как отраслевого управленческого цикла. В отличие от сфер, в которых цифровизация может быть реализована через модернизацию отдельных бизнес-процессов или внедрение автономных программных решений [17], в недропользовании управленческий результат формируется на стыке пространственных данных, геолого-геофизической информации, моделей объекта недр, ресурсной оценки, проектного планирования, производственного контроля и экономической интерпретации результатов. В связи с этим технологическая зрелость здесь не может оцениваться только по наличию отечественного аналога конкретной ГИС, СУБД, системы моделирования или средства аналитики. Существенным становится вопрос о том, способны ли эти решения совместно обеспечивать непрерывность перехода от данных к моделям, от моделей к планированию, от планирования к фактическому исполнению, а затем к мониторингу, корректировке и повторному использованию результатов.

Разработанный нами подход применения технологического радара для геоинформационного управления недропользованием на базе отечественных технологий позволяет выявить три принципиально разных состояния технологической базы РФ. В отличие от обычного перечисления программных продуктов, часто встречающегося в научной литературе, предлагаемый авторами технологический радар покажет, какие компоненты отечественной технологической базы уже могут быть включены в сквозной цикл, представленный на рис. 1, а какие из них остаются фрагментарными, недостаточно связанными или требуют приоритетного развития.

Данный методологический подход опирается на логику архитектурного описания сложных систем. В ISO/IEC/IEEE 42010:2022 архитектурное описание связано с фиксацией архитектурных точек зрения, моделей и требований к представлению архитектуры сложных систем¹. Дополнительным основанием выступает логика корпоративной архитектуры TOGAF (*англ.* The Open Group Architecture Framework) — ведущего мирового архитектурного фреймворка, который описывает структурированный подход к проектированию, планированию, внедрению корпоративной ИТ-архитектуры и управлению ею. Данный фреймворк ориентирован на повышение эффективности организации через согласование бизнес-процессов, данных, приложений и технологической инфраструктуры². В специфике недропользования это значит, что технологический радар должен фиксировать не только набор программных решений, но и их место в архитектуре управленческого цикла.

Предлагаемый нами технологический радар будет строиться по двум координатам:

1. **Первая координата** — функциональный слой интегрированного контура. В качестве таких слоев выделяются: инфраструктура и вычисления; системное программное обеспечение и СУБД; государственные и корпоративные данные; ГИС и геосервисы; 3D-геомоделирование; ресурсная оценка и планирование; операционный мониторинг; платформенная интеграция; AI- и ML-аналитика и поддержка решений; кибербезопасность; KPI и экономическая оценка. Данная структура отражает не произвольный набор технологий, а минимальный состав слоев, без которых сквозной управленческий цикл не может быть промышленно развернут.
2. **Вторая координата** — уровень технологической готовности отечественных решений. Для построения технологического радара предлагается использовать двухуровневую логику оценки. Сначала каждый функциональный слой интегрированного контура соотносится с укрупненным уровнем технологической готовности, адаптированным к шкале уровня готовности технологий (*англ.* Technology Readiness Level, TRL). Затем этот уровень уточняется по набору критериев архитектурной пригодности (наличие отечественных решений, функциональная полнота, промышленная развертываемость, интеграция с другими слоями, безопасность и управленческо-экономический эффект). Такой подход необходим потому, что для целей настоящего исследования недостаточно установить сам факт существования отечественного аналога. Важнее определить, способен ли соответствующий технологический слой работать в составе сквозного контура. В табл. 1 отражены степени технологической зрелости слоя^{3,4,5,6}.

-
- 1 ISO/IEC/IEEE 42010:2022. Software, Systems and Enterprise – Architecture Description. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/74393.html> (дата обращения: 20.01.2026).
 - 2 The TOGAF Standard. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.opengroup.org/togaf> (дата обращения: 21.01.2026).
 - 3 Technology Readiness Levels. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/> (дата обращения: 20.01.2026).
 - 4 Thoughtworks Technology Radar. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.thoughtworks.com/radar> (дата обращения: 18.01.2026).
 - 5 Lin S.-W., Murphy B., Clauer E., et al. Architecture Alignment and Interoperability: An Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0 Joint Whitepaper. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.iiconsortium.org/pdf/JTG2_Whitepaper_final_20171205.pdf (дата обращения: 13.01.2026).
 - 6 ISO 23247-1:2021. Automation Systems and Integration – Digital Twin Framework for Manufacturing. Part 1: Overview and General Principles. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/75066.html> (дата обращения: 14.01.2026).

Таблица 1

Уровни технологической готовности функциональных слоев технологического радар

Table 1

Levels of technological readiness of functional layers of technological radar

Уровень радара	Соответствие TRL	Характеристика
Сформировано	TRL 8, 9	Есть зрелые отечественные решения, подтвержденные эксплуатацией или промышленным применением
Развивается	TRL 6, 7	Есть решения и апробации, но сохраняются ограничения по масштабу, интеграции или функциональной полноте
Представлено фрагментарно	TRL 4, 5	Есть отдельные модули, прототипы или локальные внедрения
Требуется приоритетного развития	TRL 1–3	Есть концепции, исследования или экспериментальные заделы; промышленная применимость не подтверждена

Для интегрированного контура важна архитектурная пригодность того или иного решения, т. е. способность работать в связке с другими слоями, поддерживать обмен данными, обеспечивать промышленную эксплуатацию, безопасность, прослеживаемость и измеримый управленческий эффект. В связи с этим после определения укрупненного уровня TRL каждый функциональный слой дополнительно оценивается по критериям архитектурной пригодности, представленным в табл. 2⁷.

Таблица 2

Критерии оценки архитектурной пригодности функционального слоя

Table 2

Criteria for assessing the architectural suitability of a functional layer

Критерий	Характеристика
Наличие отечественных решений	Есть ли российские продукты, платформы, инфраструктурные или программные компоненты
Функциональная полнота	Закрывает ли слой ключевые функции, необходимые для целевой архитектуры
Промышленная развертываемость	Может ли слой работать на российской инфраструктуре в промышленном режиме
Межслойная совместимость	Поддерживаются ли обмен данными, API, метаданные, версионность и интеграция с другими слоями
Связь с данными	Может ли слой работать с государственными, корпоративными и производственными источниками данных
Поддержка сквозного цикла	Обеспечивает ли слой переход между этапами «данные — модели — оценка — планирование — исполнение — мониторинг»
Безопасность и доступ	Есть ли разграничение прав, контроль действий пользователей, защищенный обмен и доверенная работа с данными
Управленческо-экономический эффект	Можно ли связать слой со снижением сроков, трудоемкости, дублирования, рисков или проектных корректировок

Итоговая оценка строится по логике архитектурной готовности: способен ли конкретный слой не только существовать как самостоятельное решение, но и работать в связке с данными, моделями, планированием, мониторингом, безопасностью и экономической оценкой. Например, отдельная отечественная ГИС может иметь высокий уровень зрелости как самостоятельный программный продукт, но ее уровень готовности в составе интегрированного контура будет ниже, если не обеспечены обмен с геолого-геофизическими моделями, связь с планированием, контроль версий, защищенный доступ и повторное использование результатов. При этом технологический радар не должен подменять собой оценку экономической эффективности [18]. Его задача состоит в предварительной диагностике технологической готовности слоев и конкретных технологий, которые уже могут поддерживать сквозной цикл: какие

⁷ Schweichhart K. Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference_architectural_model_industrie_4.0_rami_4.0.pdf (дата обращения: 20.01.2026).

Таблица 3 ▼

Алгоритм применения технологического радар для оценки отечественного интегрированного контура

Table 3

Algorithm for using technological radar to evaluate domestic integrated circuit

из них требуют интеграции, а какие остаются технологическими разрывами. Экономическая оценка включается в радар как отдельный слой, поскольку без КРІ невозможно установить, влияет ли цифровой контур на сроки доступа к данным, трудоемкость подготовки материалов, снижение дублирования исследований, прослеживаемость решений, число проектных корректировок, качество планирования и инвестиционную обоснованность проектов. Алгоритм применения данного авторского подхода включает пять последовательных этапов, которые охарактеризованы в табл. 3 [19, 20].

Этап		Характеристика	Результат этапа
1	Декомпозиция целевого контура	Выделение функциональных слоев (инфраструктура, системное программное обеспечение, данные, ГИС, модели, планирование, мониторинг, интеграция, AI / ML, информационная безопасность, КРІ)	Перечень слоев технологического радар
2	Идентификация отечественной базы	Отбор российских продуктов, платформ, государственных систем и инфраструктурных компонентов по каждому слою	Матрица «слой — технология — продукт»
3	Источниковая верификация	Проверка решений по открытым источникам: реестрам программного обеспечения, сайтам разработчиков, государственным системам, отраслевым публикациям	Подтвержденная доказательная база
4	Оценка готовности	Присвоение уровня ТRL и оценка архитектурной пригодности по критериям табл. 1–2	Уровень готовности каждого слоя
5	Определение интеграционных разрывов	Выявление слоев, где отсутствует сквозная связность данных, моделей, мониторинга, безопасности и КРІ	Приоритеты архитектурной интеграции

Предложенный нами алгоритм позволяет использовать технологический радар не как иллюстративную схему, а как инструмент последовательной диагностики. Сначала определяется состав целевого контура, затем по каждому слою фиксируется отечественная технологическая база, после чего проводится источниковая проверка и оценка готовности. Итогом является не просто распределение решений по уровням ТRL, но и выявление архитектурных разрывов, препятствующих переходу от набора отечественных продуктов к сквозному контуру геоинформационного управления недропользованием. Таким образом, предлагаемая методика позволяет рассматривать технологический радар как инструмент архитектурной диагностики отечественного контура геоинформационного управления недропользованием. Результатом является выявление степени готовности к совместной работе в сквозном цикле принятия решений.

3.3. Оценка уровней технологического радар отечественных решений

Поскольку построение технологического радар основано не на абстрактном перечислении классов технологий, а на соотнесении каждого функционального слоя с конкретными отечественными решениями, целесообразно сформировать матрицу отечественных провайдеров, продуктов и технических решений (Kaspersky OT CyberSecurity⁸, программные комплексы Geoplat Pro-G⁹, Майнфрэйм ОГР¹⁰,

⁸ Kaspersky OT CyberSecurity. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kaspersky.ru/enterprise-security/industrial-solution> (дата обращения: 02.01.2026).

⁹ Программный комплекс Geoplat Pro-G для построения и поддержки трехмерных моделей залежей нефти и газа и подсчета запасов на основе интегрированной интерпретации геолого-геофизических и промысловых данных. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://catalog.arppsoft.ru/product/6038123> (дата обращения: 04.01.2026).

¹⁰ Майнфрэйм ОГР. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mineframe.ru/majnfrej-m-ogr/> (дата обращения: 08.01.2026).

программные продукты МАГМА¹¹, горно-геологическая информационная система «ГЕОМИКС»¹², ГИС «ЦИКЛОН»¹³, Росгеолфонд¹⁴, Единый фонд геологической информации о недрах¹⁵, Национальная система пространственных данных (НСПД)¹⁶, операционная система Astra Linux Special Edition¹⁷, Deckhouse Kubernetes Platform¹⁸, СУБД Arenadata DB¹⁹, Postgres Pro Certified²⁰, сервисы Cloud.ru²¹), распределив их по слоям и технологиям (табл. 4).

Слой технологического радара	Технологии	Отечественные провайдеры, продукты и технические решения
Инфраструктура и вычисления	Центр обработки данных, облака, инфраструктура и платформа как услуга, хранение, резервирование	Cloud.ru, российские дата-центры и облачные провайдеры
Системное программное обеспечение и операционные системы	Операционная система, защищенная среда, системное администрирование	Astra Linux Special Edition
СУБД и хранилища данных	Реляционные СУБД, аналитические СУБД с массивно-параллельной архитектурой, большие данные	Postgres Pro Certified, Arenadata DB
Контейнеризация и сервисная архитектура	Kubernetes, микросервисы, облачно-ориентированный подход, управление сервисами	Deckhouse Kubernetes Platform
Государственные и корпоративные данные	Пространственные данные, геологическая информация, фонды, архивы геолого-геофизических данных	НСПД, ЕФГИ, Росгеолфонд, корпоративные архивы
ГИС и геосервисы	Корпоративные ГИС, геопорталы, веб-карты, полевой сбор, данные ДЗЗ / БПЛА	ГИС «ЦИКЛОН», ГИС INTEGRO, платформа «НАША ГИС», корпоративные ГИС-среды
3D-геомоделирование	Каркасные и блочные модели, модели залежей, геологическая интерпретация	Платформы «ГЕОМИКС Геология», «МАГМА Гео», Geoplat Pro-G, DV-Geo
Ресурсная оценка и планирование	Подсчет запасов, планирование добычи, сценарное планирование	ГЕОМИКС, МАЙНФРЭЙМ, система «МАГМА План»
Операционный мониторинг	Диспетчеризация, полевой сбор, Интернет вещей, план-факт, мониторинг оборудования	Система «МАГМА Контроль», ГИС «ЦИКЛОН», корпоративные системы
Платформенная интеграция	API, шины данных, единое рабочее пространство, микросервисы, метаданные	Deckhouse, корпоративные платформы данных, интеграционные сервисы
AI- и ML-аналитика	ML-разработка, классификация, прогнозирование, обработка данных ДЗЗ / БПЛА	ML Space, корпоративные ML-платформы
Кибербезопасность	Защита операционных технологий и промышленных систем от киберугроз, управление идентификацией и доступом, мониторинг угроз, защищенный обмен	Kaspersky OT CyberSecurity, отечественные средства информационной безопасности
KPI и экономическая оценка	План-факт, капитальные и операционные затраты, сроки, риски, повторное использование данных	Корпоративные KPI, проектная аналитика

Таблица 4 

Матрица отечественных решений для построения технологического радара отечественной технологической базы интегрированного контура

Table 4

Matrix of domestic solutions for building a technological radar for the domestic technological base of the integrated circuit

- 11 Линейка программных продуктов МАГМА. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://digital-horizon.ru/ru/produktuy/> (дата обращения: 08.01.2026).
- 12 ГЕОМИКС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mining-media.ru/images/2021/expo2021/geomix.pdf> (дата обращения: 06.01.2026).
- 13 Циклон ГИС. Геология и горное дело. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyclonegis.ru/industries/mining/> (дата обращения: 08.01.2026).
- 14 Российский федеральный геологический фонд. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rfgf.ru> (дата обращения: 21.01.2026).
- 15 ФГИС «ЕФГИ». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosnedra.gov.ru/activity/informatsionnye-resursy-i-programmy/fgis-efgi/> (дата обращения: 08.01.2026).
- 16 Портал пространственных данных «Национальная система пространственных данных». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nspd.gov.ru/> (дата обращения: 16.01.2026).
- 17 Astra Linux Special Edition. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://catalog.arppsoft.ru/product/6127483> (дата обращения: 08.01.2026).
- 18 Deckhouse Kubernetes Platform. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://deckhouse.ru/products/kubernetes-platform> (дата обращения: 02.01.2026).
- 19 Arenadata DB. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.arenadata.io/en/landing-adb/index.html> (дата обращения: 08.01.2026).
- 20 СУБД Postgres Pro Certified. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://postgrespro.ru/products/postgrespro/certified> (дата обращения: 08.01.2026).
- 21 IaaS-, PaaS- и ML-сервисы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cloud.ru/products> (дата обращения: 06.01.2026).

Начальный уровень технологического радар образуют инфраструктурные, системные и информационные компоненты. Их необходимо рассматривать отдельно от прикладных ГИС и горно-геологических систем, поскольку именно они определяют возможность промышленного развертывания интегрированного контура. При отсутствии вычислительной инфраструктуры, систем хранения, СУБД, контейнерной платформы, средств мониторинга и защищенного обмена прикладные сервисы геоинформационного управления являются локальными решениями, а не элементами сквозной архитектуры.

Инфраструктурный слой включает вычислительные мощности, центры обработки данных, облачные среды, системы хранения, резервирования, мониторинга и сетевого взаимодействия. Наличие российской инфраструктурной базы подтверждается развитием отечественных облачных провайдеров, инфраструктуры и платформы как услуги (*англ.* Infrastructure as a Service, IaaS; Platform as a Service, PaaS). Так, Cloud.ru указывает на наличие более 130 IaaS- и PaaS-сервисов, дата-центров и облачных сервисов для бизнеса. Иначе говоря, в России существует инфраструктурная база для развертывания вычислительных, платформенных и аналитических компонентов. Однако применительно к недропользованию данный слой не может оцениваться только по наличию облачных мощностей. Требуется защищенное размещение пространственных, геологических, производственных и экономических данных, а также возможность работы в частном или гибридном контуре.

Системный слой включает операционные системы, СУБД, средства виртуализации и контейнеризации, инструменты резервного копирования, журналирования, мониторинга, интеграционного обмена и управления доступом. На уровне СУБД российская база представлена, в частности, Postgres Pro Certified, а на официальной странице продукта указано, что это защищенная СУБД для ответственных применений, сертифицированная Федеральной службой по техническому и экспортному контролю и включенная в Единый реестр российского программного обеспечения под номером 104. Для интегрированного контура это означает наличие отечественного компонента, который может использоваться в защищенных информационных системах, где требуется хранение и обработка критически значимых данных.

Для аналитических хранилищ и обработки больших массивов данных показателен пример Arenadata DB (ADB). Разработчик описывает ADB как массивно-параллельную реляционную аналитическую СУБД на основе Greenplum (массивно-параллельную СУБД для аналитических хранилищ и больших данных, предназначенную для хранения и обработки больших объемов информации: от десятков терабайт до десятков петабайт). Это имеет важное значение для геоинформационного управления недропользованием, поскольку контур должен работать не только с единичными таблицами или картографическими слоями, но и с крупными массивами пространственных, геофизических, спутниковых, производственных и исторических данных.

Отдельный элемент системного слоя связан с контейнеризацией и управлением прикладными сервисами. В России достаточно много поставщиков подобных решений. Например, Deckhouse Kubernetes Platform позиционируется как экосистема инструментов для построения и доставки облачно-ориентированных приложений, запуска legacy-приложений и перехода от монолитной архитектуры к микросервисной. Указывается также поддержка версий Kubernetes 1.25–1.35, наличие контейнеризационной и виртуализационной платформ. Для интегрированного контура эта технология важна потому, что геоинформационные сервисы, модели, API, аналитические модули и сервисы мониторинга должны разворачиваться не как единый монолит, а как управляемая совокупность сервисов, способная масштабироваться и интегрироваться с другими слоями архитектуры.

На уровне отечественных операционных систем показательным примером является Astra Linux Special Edition, которая представлена в Едином реестре российского программного обеспечения. Значение этого слоя состоит в том, что интегрированный контур не может опираться только на прикладные

отраслевые решения, ему необходим системный фундамент, допускающий развертывание в импортонезависимой и защищенной среде.

Информационный слой включает государственные и корпоративные источники пространственных, геологических, геофизических, инфраструктурных, экологических и производственных данных. В российском контексте его базовыми элементами выступают НСПД, Единый фонд геологической информации о недрах, Росгеолфонд, корпоративные базы скважин, архивы геолого-геофизических данных и производственные информационные системы недропользователей [1, 3]. Именно этот слой задает исходный материал для последующего моделирования, ресурсной оценки, планирования, мониторинга и экономической аналитики.

Итак, в рамках инфраструктурного и системного уровней в России существуют отечественные решения, подтвержденные открытыми источниками, реестрами программного обеспечения, сертификацией или заявленной промышленной применимостью. Вместе с тем их наличие еще не означает готовности интегрированного контура в целом, т. к. компоненты должны быть связаны с прикладными ГИС, горно-геологическими моделями, государственными фондами данных, производственным мониторингом и экономической оценкой в единую архитектуру (табл. 5).

Таблица 5 ▼

Оценка инфраструктурного, системного и информационного уровней технологического радар

Table 5

Assessing the infrastructure, systems, and information levels of the technology radar

Слой радара	Технологии, провайдеры, продукты	Уровень готовности	Основное ограничение
Инфраструктура и вычисления	Cloud.ru и другие российские облачные провайдеры и провайдеры центров обработки данных	Сформировано / развивается	Нужна проверка защищенного размещения отраслевых данных и промышленной масштабируемости
Системное программное обеспечение и операционные системы	Astra Linux и другие отечественные операционные системы	Развивается / сформировано	Требуется совместимость с отраслевыми ГИС, моделями, СУБД и средствами информационной безопасности
СУБД и аналитические хранилища	Postgres Pro Certified, Arenadata DB	Развивается	Требуется проверка работы с большими пространственными и геолого-геофизическими массивами
Контейнеризация и сервисная архитектура	Deckhouse Kubernetes Platform	Развивается	Требуется связь с отраслевыми сервисами, API, мониторингом и требованиями информационной безопасности
Государственные и корпоративные данные	НСПД, ЕФГИ, Росгеолфонд, корпоративные архивы геолого-геофизических данных	Развивается	Сохраняется разрыв между фондами данных, корпоративными системами и прикладными сервисами
Управление метаданными и прослеживаемостью	Каталоги, реестры, корпоративные хранилища, механизмы версииности	Представлено фрагментарно	Недостаточно подтверждена единая модель метаданных и сквозной прослеживаемости по всему циклу

Отечественная база для первых уровней технологического радара в целом представлена. Инфраструктура, операционные системы, СУБД, аналитические хранилища и контейнерные платформы могут рассматриваться как технологический фундамент будущего контура. Однако наиболее уязвимым участком остается не наличие отдельных компонентов, а их архитектурная связность, интеграция с государственными и корпоративными источниками данных, отраслевыми ГИС, моделями, мониторингом, средствами безопасности и управленческо-экономическими KPI.

Прикладные уровни технологического радара составляют ГИС и геосервисы, горно-геологическое моделирование, ресурсная оценка, планирование и операционный мониторинг. Именно здесь пространственные и геолого-геофизические данные переходят из режима хранения и визуализации в режим подготовки моделей, проектных решений и контроля исполнения работ. Оценка прикладных уровней технологического радара приведена в табл. 6.

Анализ показывает, что на прикладных уровнях отечественного технологического радара представлены решения для ГИС-поддержки, геомоделирования,

Слой радара	Технологии, провайдеры, продукты	Уровень готовности	Основное ограничение
ГИС и геосервисы	ГИС «ЦИКЛОН», ГИС INTEGRIO, платформа «НАША ГИС», корпоративные ГИС, геопорталы	Развивается	Требуется связка с моделями, планированием и производственными системами
3D-геомоделирование	Платформы «ГЕОМИКС Геология», «МАГМА Гео», Geoplat Pro-G, DV-Geo	Развивается / сформировано	Нужна интеграция с ресурсной и экономической оценкой
Подсчет запасов и ресурсная оценка	ГЕОМИКС, платформа «МАГМА Гео», Geoplat Pro-G	Развивается	Недостаточно подтверждена связь с инвестиционной моделью проекта
Планирование горных работ	МАЙНФРЭЙМ, система «МАГМА План»	Развивается	Требуется связь с фактическим исполнением и мониторингом
Операционный контроль	Система «МАГМА Контроль», ГИС «ЦИКЛОН», полевой сбор данных	Фрагментарно / развивается	Не подтвержден полный контур «план — факт — KPI»
Платформенная связность	Платформа «МАГМА Минерал», корпоративные ГИС-среды	Фрагментарно	Требуется единое рабочее пространство и сквозная версия данных

Таблица 6 

Оценка прикладных (геоинформационного, модельного и операционного) уровней технологического радара

Table 6

Assessing the application (geoinformation, modeling, and operational) layers of technological radar

подсчета запасов, планирования и отдельных элементов контроля. Главный разрыв состоит именно в недостаточной подтвержденности сквозной интеграции имеющихся продуктов от пространственных данных и геомодели к планированию, фактическому исполнению, мониторингу, экономической оценке и повторному использованию результатов.

Завершающий уровень технологического радара связан с теми слоями, которые превращают набор инфраструктурных, информационных и прикладных решений в сквозной контур управления, т. е. с AI- и ML-аналитикой, кибербезопасностью, а также системой управленческо-экономических KPI. Именно на этом уровне определяется, будет отечественный контур работать как совокупность разрозненных цифровых инструментов или как связанная архитектура (табл. 7).

Таким образом, завершающие слои технологического радара демонстрируют главный разрыв целевого отечественного контура геоинформационного управления недропользованием, а именно: отдельные технологические компоненты представлены, но их интеграция в управленческую архитектуру пока требует методического и организационного оформления. Для преодоления этого разрыва необходимо не только развивать ГИС, модели и планирование, но и обеспечить платформенную связность, отраслевую AI- и ML-аналитику, защищенный обмен, управление версиями, цифровые двойники и KPI результативности.

Таблица 7 

Оценка платформенного, аналитического и защитного уровней технологического радара

Table 7

Assessing the platform, analytical and defense layers of a technology radar

Слой радара	Технологии, провайдеры, продукты	Уровень готовности	Основное ограничение
Платформенная интеграция	API, контейнеризация, Deckhouse Kubernetes Platform, корпоративные платформы данных	Фрагментарно / развивается	Требуется единое рабочее пространство для данных, моделей, мониторинга и пользователей
AI- и ML-аналитика	ML Space, корпоративные ML-платформы, инструменты обработки данных ДЗЗ / БПЛА	Развивается	Требуется обученная по отраслевым данным и проверенная аналитика для геолого-геофизических и пространственных данных
Цифровые двойники	Отдельные модели, ГИС-сервисы, промышленные платформы и элементы мониторинга	Фрагментарно	Нет подтвержденного сквозного двойника цикла «данные — модель — план — факт — экономика»
Кибербезопасность	Kaspersky OT CyberSecurity, отечественные средства защиты, управление доступом	Развивается / сформировано	Требуется интеграция информационной безопасности с ГИС, промышленным Интернетом вещей, облаками, производственными и корпоративными системами
KPI и экономическая оценка	Корпоративные показатели, проектная аналитика, план-факт-контроль	Фрагментарно	Нет единой методики оценки эффекта геоинформационного контура
Управление версиями и метаданными	Каталоги данных, реестры, корпоративные хранилища	Фрагментарно	Требуется сквозная прослеживаемость данных, моделей и решений

3.4. Сводный технологический радар и этапы дальнейшего развития отечественного интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием

Проведенный анализ показал, что отечественная технологическая база для формирования интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием представлена неравномерно. Наиболее зрелыми являются инфраструктурный, системный уровни и часть прикладных (облачные и серверные мощности, отечественные операционные системы, СУБД, корпоративные ГИС, горно-геологическое моделирование и отдельные решения для планирования). Более проблемными остаются слои, отвечающие за сквозную связность (управление метаданными, платформенная интеграция, цифровые двойники, связь моделей с экономической оценкой, план-факт-контроль и КРІ результативности) (рис. 2). Российский контур располагает инфраструктурой, системным программным обеспечением, ГИС, горно-геологическими системами и средствами планирования, однако ключевой разрыв сохраняется между наличием решений и их работой в едином сквозном цикле. Иными словами, наиболее дефицитной является не продуктовая, а интеграционная зрелость.

Сводный технологический радар позволяет перейти от оценки отдельных слоев к определению этапов архитектурной интеграции отечественного контура в виде шести последовательных этапов.

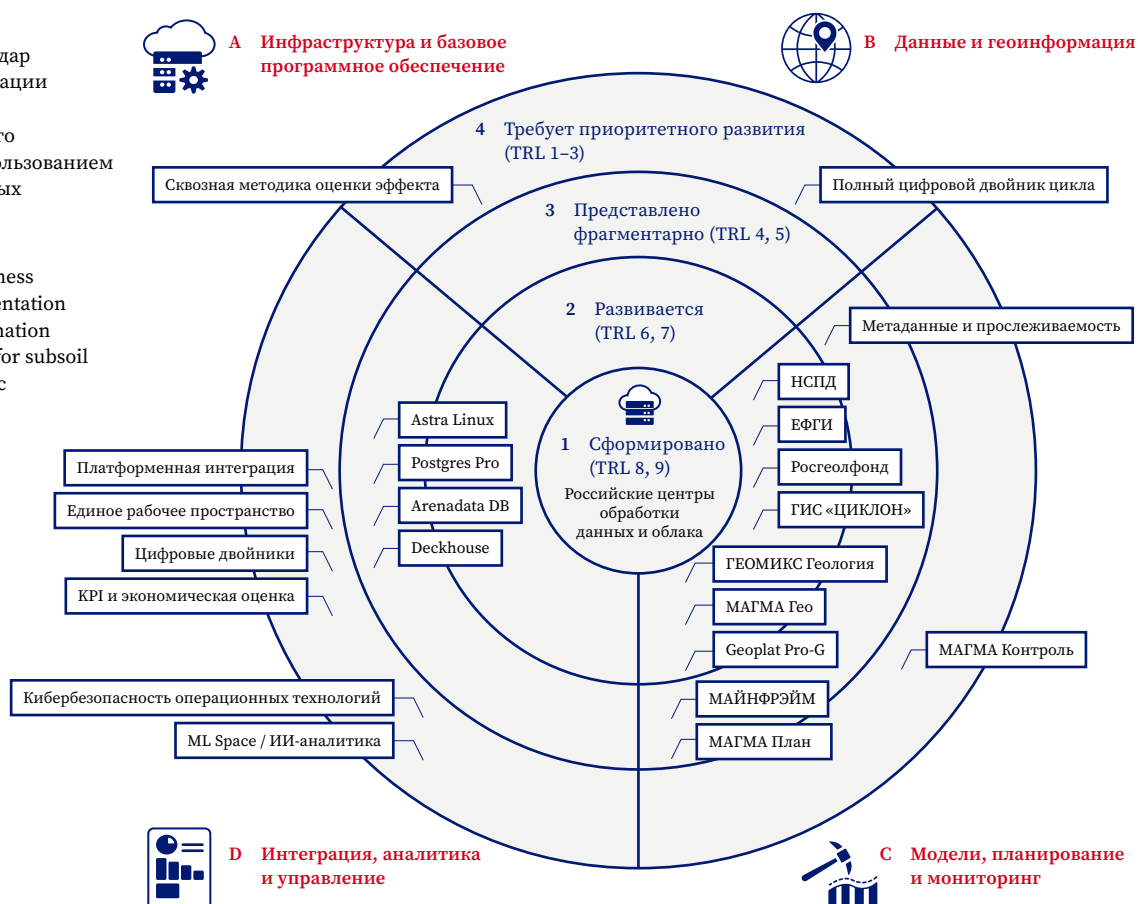
1. Формирование технологического и информационного реестра контура геоинформационного управления недропользованием. На этом этапе фиксируются государственные и корпоративные источники данных, используемые ГИС, горно-геологические системы, модели, инструменты планирования, мониторинга, СУБД, инфраструктурные и защитные компоненты.

Рис. 2 ➤

Технологический радар готовности к реализации единого контура геоинформационного управления недропользованием на базе отечественных технологий

Fig. 2

A technological readiness radar for the implementation of a unified geoinformation management system for subsoil use based on domestic technologies



Результат — карта фактической технологической базы (какие решения уже используются, какие данные они создают, какие форматы поддерживают, какие связи между ними существуют).

2. Нормализация данных, метаданных и правил обмена. Для интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием критично обеспечить единые идентификаторы объектов, описание происхождения данных, управление версиями, требования к качеству, регламенты доступа и правила передачи результатов между этапами. Без этого государственные фонды, корпоративные ГИС, базы скважин, геологические модели и производственные системы остаются разрозненными информационными массивами. На данном этапе формируется основа прослеживаемости от исходного геолого-геофизического материала до модели, плана, фактического исполнения и последующей экономической оценки.
3. Интеграция прикладных слоев ГИС, 3D-геомоделирования, ресурсной оценки и планирования. Результаты пространственного анализа и геологического моделирования должны использоваться не только как отчетные или визуальные материалы, но и как входные данные для подсчета запасов, проектных сценариев, календарного планирования и оценки ограничений. Именно на этом этапе геоинформационный контур начинает выполнять не справочную, а управленческую функцию.
4. Формирование операционной обратной связи. В контур необходимо включать данные о фактическом исполнении работ, полевом сборе информации, мониторинге оборудования, спутниковом и БПЛА-контроле, отклонениях от плана и корректировках. Управленческий смысл этапа состоит в переходе от линейной модели «данные — модель — план» к циклической, где фактические результаты возвращаются в данные, модели и последующие проектные сценарии.
5. Развитие платформенной интеграции и защищенного обмена. На этом этапе формируются API, шины данных, единое рабочее пространство, механизмы разграничения доступа, контроль действий пользователей, журналирование, резервирование и защита промышленного контура. Значение этапа состоит в том, что он переводит систему из набора взаимодействующих приложений в устойчивую сервисную архитектуру, где участники недропользовательского процесса работают с согласованными данными, моделями и версиями решений.
6. Внедрение аналитических сервисов, цифровых двойников и KPI результативности. Эти решения должны вводиться не как самостоятельная надстройка, а как результат зрелости предыдущих этапов: AI- и ML-аналитика может использоваться для классификации данных, выявления закономерностей и прогнозирования отклонений; цифровой двойник — для связного представления данных, моделей, состояния работ и сценариев; KPI — для оценки влияния контура на сроки, трудоемкость, дублирование, риски и качество управленческих решений. В противном случае цифровой двойник остается визуальной моделью, а AI и ML — изолированным экспериментом без влияния на управленческий цикл.

4 Выводы

В ходе данного исследования была обоснована необходимость разработки технологического радары формирования отечественного интегрированного контура геоинформационного управления недропользованием. Показано, что технологическая готовность такого контура не может оцениваться только по наличию отдельных отечественных программных продуктов. Управленческий эффект возникает при их согласованной работе в сквозном цикле «данные — модели — ресурсная оценка — планирование — исполнение — мониторинг — экономическая оценка — повторное использование результатов».

В работе уточнено содержание интегрированного контура как многоуровневой архитектуры, включающей инфраструктурный, системный, информационный, геоинформационный, модельный, проектно-плановый, операционный, платформенный, аналитический, защитный и оценочный слои. Предложена методика технологического радара, основанная на соотношении функциональных слоев с уровнями технологической готовности TRL и критериями архитектурной пригодности.

На основе анализа открытых источников систематизирована отечественная технологическая база по ключевым слоям контура. Установлено, что наиболее зрелыми являются инфраструктурный, системный уровни и часть прикладных, тогда как наиболее проблемными остаются платформенная интеграция, управление метаданными, сквозная прослеживаемость, цифровые двойники полного цикла, связь моделей с экономической оценкой и KPI результативности.

Ключевая проблема отечественного направления заключается не в отсутствии технологической базы, а в недостаточной интеграционной зрелости. В связи с этим дальнейшее развитие должно быть связано с архитектурным согласованием отечественных решений, унификацией данных и метаданных, настройкой обмена между слоями, формированием операционной обратной связи, защищенного взаимодействия и системы измеримых управленческо-экономических показателей.

Научно-практическая значимость предложенного подхода состоит в том, что технологический радар может использоваться как инструмент диагностики готовности отечественных решений к работе в составе сквозного контура геоинформационного управления недропользованием, а также как основа для определения приоритетов его дальнейшего развития.

библиография

1. Аракчеев Д.Б., Юон Е.М., Захаркин И.В. и др. ФГИС «Единый фонд геологической информации о недрах» как основа цифровой трансформации недропользования // Геология нефти и газа. 2021. № 3. С. 21–29. DOI:10.31087/0016-7894-2021-3-21-29.
2. Арбузова Е.В., Любимова А.В., Толмачева Е.Р. Анализ картографических материалов по геолого-геофизической изученности на УВС для решения практических задач нефтяной геологии // Геоинформатика. 2018. № 3. С. 98–105.
3. Шпильман А.В. Компонентный состав и архитектура системы мониторинга геологоразведочных работ // Бурение и нефть. 2018. № 9. С. 31–33.
4. Гафаров Р.М., Сираев И.А., Денисенко Н.В. и др. Система контроля качества полевых сейсморазведочных работ // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. № 6 (354). С. 34–41. DOI:10.33285/2413-5011-2021-6(354)-34-41.
5. Беляевская-Плотник Л.А. Цифровой «радар» экономической безопасности государства: теория, методика, апробация // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2025. Т. 15, № 6А. С. 119–131. DOI:10.34670/AR.2025.96.47.012.
6. Бочков А.С., Панфилова Е.С., Богданович Е.С. и др. Цифровая трансформация системы технологического менеджмента // Газовая промышленность. 2022. № S1 (829). С. 42–48.
7. Ена О.В. Радары для многопараметрической оценки технологий. Сценарии патентной аналитики // Вестник ФИПС. 2024. Т. 3, № 1. С. 12–29.
8. Лебедев Ю.В., Крылов В.Г. Системный анализ сферы недропользования // Вестник СГУГиТ. 2022. Т. 27, № 4. С. 160–168. DOI:10.33764/2411-1759-2022-27-4-160-168.
9. Тен А.Д. Состояние и перспективы обеспечения технологического суверенитета в агропромышленном секторе России // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2025. № 5. С. 121–133. DOI:10.333938/255-121.
10. Камынина Н.Р., Ханиев Р.М. Фундаментальные исследования как часть инновационной деятельности компаний // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 13, № 2 (155). С. 34–47. DOI:10.36871/ek.up.p.r.2025.02.13.004.
11. Рогова Т.Б., Шаклеин С.В. Применение геоинформационных технологий при оценке запасов угольных месторождений Кузбасса // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2021. № 1-6 (175). С. 47–53.

12. Кузьмин С.Б., Лопаткин Д.А. Геоинформационное обеспечение для оценки риска природопользования в странах Европейского Союза // Геоинформатика. 2021. № 4. С. 4–17. DOI:10.47148/1609-364X-2021-4-4-17.
13. Анисимов Г.А., Валеева С.Е., Валеева И.Ф. и др. О современной ситуации по использованию программных комплексов в недропользовании // Экспозиция Нефть Газ. 2016. № 6 (52). С. 13–15.
14. Кричинский А.К., Поспеев А.В. Интеграция искусственного интеллекта в обработку геолого-геофизических данных при разведке твердых полезных ископаемых // Науки о Земле и недропользование. 2025. Т. 48, № 3. С. 310–320. DOI:10.21285/2686-9993-2025-48-3-310-320.
15. Блискивицкий А.А. Концептуальные основы создания и развития геоинформационных систем фондов геологической информации // Геоинформатика. 2016. № 1. С. 9–21.
16. Черемисина Е.Н., Кирпичева Е.Ю., Токарева Н.А. и др. Базовые задачи искусственного интеллекта на примере геологоразведки // Геоинформатика. 2024. № 4. С. 83–92. DOI:10.47148/1609-364X-2024-4-83-92.
17. Горбашко Е.А., Камынина Н.Р. Цифровизация в государственном управлении недвижимым имуществом организации // Экономические науки. 2019. № 2 (171). С. 28–34. DOI:10.14451/1.171.28.
18. Разин А.В. Принципы организации и методическая основа геоинформационного обеспечения кадастра антропогенных выбросов парниковых газов на основе национальной системы пространственных данных РФ // Вестник СГУГиТ. 2026. Т. 31, № 1. С. 157–170. DOI:10.33764/2411-1759-2026-31-1-157-170.
19. Shao G., Frechette S., Srinivasan V. An Analysis of the New ISO 23247 Series of Standards on Digital Twin Framework for Manufacturing // Proceedings of ASME 2023 18th International Manufacturing Science and Engineering Conference (MES2023). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=935765 (дата обращения: 20.01.2026).
20. Kayan H., Nunes M., Rana O., et al. Cybersecurity of Industrial Cyber-Physical Systems: A Review // ACM Computing Surveys. 2022. Vol. 54. Iss. 11s. P. 229. DOI:10.1145/3510410.

авторы **Камынина Надежда Ростиславовна**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия

д-р экон. наук, канд. техн. наук, доцент

 0009-0005-5170-5582

Логинов Дмитрий Сергеевич

 loginov@geohorizon.ru

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра визуализации геоданных и картографического дизайна,

картографический факультет

канд. техн. наук

 0000-0003-0853-1757

Поступила 25.01.2026. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Technological Radar for the Formation of a Domestic Integrated Geoinformation Management System for Subsoil Use

Nadezhda R. Kamynina¹✉, Dmitriy S. Loginov¹

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ rector@miigaik.ru

citation Kamynina NR, Loginov DS. Technological Radar for the Formation of a Domestic Integrated Geoinformation Management System for Subsoil Use. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 71–90. DOI:10.30533/GiA-2026-022.

keywords subsoil use, geoinformation management, technological radar, domestic software, spatial data, digital twins, Mining 4.0, technological readiness, import independence

abstract This article examines the technological feasibility of an integrated geoinformation management framework for subsoil use based on domestic software, infrastructure, and analytical capabilities. It demonstrates that the development of such a framework cannot be reduced to the implementation of individual GIS, mining and geological information systems, 3D modeling tools, or digital twins. Its deployment requires the coordinated development of several technological layers: computing and cloud infrastructure, system software, spatial and geological-geophysical data, GIS and geoservices, mining and geological modeling, resource assessment, planning, operational monitoring, platform integration, AI/ML tools, cybersecurity, and management and economic analytics. The authors propose a technological radar for the development of a domestic integrated geoinformation management framework for subsoil use, enabling the correlation of the necessary technological layers with existing Russian solutions and the identification of zones of technological readiness, fragmentation, and priority development. A two-level evaluation logic allows each functional layer of the integrated framework to be correlated with a high-level technological readiness and the availability of domestic solutions to be clarified. The results of an assessment of the infrastructure, system, and information levels are presented, along with a consolidated technology radar that identifies the key problem of insufficient integration maturity of domestic solutions. Stages for the further development of a domestic integrated framework for geoinformation management of subsoil use are proposed.

references 1. Arakcheev DB, Yuon EM, Zaharkin IV, et al. FGIS “Edinyi fond geologicheskoi informatsii o nedrakh” kak osnova tsifrovoy transformatsii nedropol'zovaniya [FSIS “Unified Subsurface Geological Information Fund” as the Basis for the Digital

- Transformation of the Geological Information Support of the Industry]. *Russian Oil And Gas Geology*. 2021;3: 21–29. (In Russian). DOI:10.31087/0016-7894-2021-3-21-29.
2. Arbuzova EV, Lyubimova AV, Tolmacheva ER. Analiz kartograficheskikh materialov po geologo-geofizicheskoi izuchennosti na UVS dlya resheniya prakticheskikh zadach neftyanoi geologii [Analysis of Cartographic Data, Representing of the Geophysical Survey Coverage (Profiles and Wells), for Solving of Practical Problems of Petroleum Geology]. *Geoinformatika*. 2018;3: 98–105. (In Russian).
 3. Shpil'man AV. Komponentnyi sostav i arkhitektura sistemy monitoringa geologorazvedochnykh rabot [Component Composition and Architecture of the Geological Exploration Monitoring System]. *Drilling and Oil*. 2018;9: 31–33. (In Russian).
 4. Gafarov RM, Siraev IA, Denisenko NV, et al. Sistema kontrolya kachestva polevykh seysmorazvedochnykh rabot [Quality Control System for Fields Seismic Exploration]. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*. 2021;6(354): 34–41. (In Russian). DOI:10.33285/2413-5011-2021-6(354)-34-41.
 5. Belyaevskaya-Plotnik LA. Tsifrovoy “radar” ekonomicheskoi bezopasnosti gosudarstva: teoriya, metodika, aprobatsiya [Digital “Radar” of National Economic Security: Theory, Methodology, Implementation]. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*. 2025;15(6A): 119–131. (In Russian). DOI:10.34670/AR.2025.96.47.012.
 6. Bochkov AS, Panfilova ES, Bogdanovich ES, et al. Tsifrovaya transformatsiya sistemy tekhnologicheskogo menedzhmenta [Digital Transformation of a Process Management System]. *Gas Industry*. 2022;S1(829): 42–48. (In Russian).
 7. Ena OV. Radary dlya mnogoparametricheskoi otsenki tekhnologii. Stsenarii patentnoi analitiki [Radars for Multi-Parameter Technology Assessment. Patent Analytics Scenarios]. *Bulletin of Federal Institute of Industrial Property*. 2024;3(1): 12–29. (In Russian).
 8. Lebedev YuV, Krylov VG. Sistemnyi analiz sfery nedropol'zovaniya [System Analysis of the Subsurface Use Sphere]. *Vestnik SSUGT*. 2022;27(4): 160–168. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2022-27-4-160-168.
 9. Ten AD. Sostoyanie i perspektivy obespecheniya tekhnologicheskogo suvereniteta v agropromyshlennom sektore Rossii [State and Prospects for Ensuring Technological Sovereignty in the Agro-Industrial Sector of Russia]. *Economics, Labor, Management in Agriculture*. 2025;5: 121–133. (In Russian). DOI:10.333938/255-121.
 10. Kamynina NR, Haniev RM. Fundamental'nye issledovaniya kak chast' innovatsionnoy deyatel'nosti kompanij [Fundamental Research as Part of Companies' Innovation Activities]. *Economics and Management: Problems, Solutions*. 2025;13(2(155)): 34–47. (In Russian). DOI:10.36871/ek.up.p.r.2025.02.13.004.
 11. Rogova TB, Shaklein SV. Primeneniye geoinformatsionnykh tekhnologiy pri otsenke zapasov ugol'nykh mestorozhdeniy Kuzbassa [Application of Geoinformation Technologies in the Assessment of Coal Deposits in Kuzbass]. *Mineral Resources of Russia. Economics & Management*. 2021;1-6(175): 47–53. (In Russian).
 12. Kuzmin SB, Lopatkin DA. Geoinformatsionnoye obespecheniye dlya otsenki riska prirodopol'zovaniya v stranakh Yevropeyskogo Soyuzha [Geoinformation Support for Environmental Risk Assessment in Countries of European Union]. *Geoinformatika*. 2021;4: 4–17. (In Russian). DOI:10.47148/1609-364X-2021-4-4-17.
 13. Anisimov GA, Valeeva SE, Valeeva IF, et al. O sovremennoy situatsii po ispol'zovaniyu programmnykh kompleksov v nedropol'zovanii [About the Current Situation on the Use of Software Systems in the Mineral Wealth Use]. *Exposition Oil Gas*. 2016;6(52): 13–15. (In Russian).
 14. Krichinskii AK, Pospuev AV. Integratsiya iskusstvennogo intellekta v obrabotku geologo-geofizicheskikh dannykh pri razvedke tverdykh poleznykh iskopaemykh [Integration of Artificial Intelligence into Geological and Geophysical Data Processing in Solid Minerals Exploration]. *Earth Sciences and Subsoil Use*. 2025;48(3): 310–320. (In Russian). DOI:10.21285/2686-9993-2025-48-3-310-320.
 15. Bliskavitsky AA. Kontseptual'nye osnovy sozdaniya i razvitiya geoinformatsionnykh sistem fondov geologicheskoi informatsii [Conceptual Basis of the Creation and Development of GIS of Geological Information Funds]. *Geoinformatika*. 2016;1: 9–21. (In Russian).

16. Cheremisina EN, Kirpicheva EYu, Tokareva NA, et al. Bazovye zadachi iskusstvennogo intellekta na primere geologorazvedki [Basic Artificial Intelligence Tasks in Context of Geological Prospecting]. *Geoinformatika*. 2024;4: 83–92. (In Russian). DOI:10.47148/1609-364X-2024-4-83-92.
17. Gorbashko EA, Kamynina NR. Tsifrovizatsiya v gosudarstvennom upravlenii nedvizhimym imushchestvom organizatsii [Digitalization in Public Management of Real Estate of Organizations]. *Economic Sciences*. 2019;2(171): 28–34. (In Russian). DOI:10.14451/1.171.28.
18. Razin AV. Printsipy organizatsii i metodicheskaya osnova geoinformatsionnogo obespecheniya kadastra antropogennykh vybrosov parnikovyykh gazov na osnove natsional'noy sistemy prostranstvennykh dannykh RF [Organizational Principles and Methodological Foundations for GIS-Based Cadastre of Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions within Russia's National Spatial Data System]. *Vestnik SSUGT*. 2026;31(1): 157–170. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2026-31-1-157-170.
19. Shao G, Frechette S, Srinivasan V. An Analysis of the New ISO 23247 Series of Standards on Digital Twin Framework for Manufacturing. *Proceedings of ASME 2023 18th International Manufacturing Science and Engineering Conference (MESG2023)*. Available from: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=935765 (Accessed 20 January 2026).
20. Kayan H, Nunes M, Rana O, et al. Cybersecurity of Industrial Cyber-Physical Systems: A Review. *ACM Computing Surveys*. 2022;54(11s): 229. DOI:10.1145/3510410.

authors**Nadezhda R. Kamynina**

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

Dr. of Sci. (Economics), PhD in Engineering, Associate Professor

 0009-0005-5170-5582

Dmitriy S. Loginov

 loginov@geohorizon.ru

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

Department of Visualization of Geodata and Cartographic Design, Faculty of Cartography

PhD in Engineering

 0000-0003-0853-1757

Submitted: January 25, 2026. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.



Применение переносного лазерного сканирования, основанного на технологии одновременной локализации и построения карты, в кадастровой деятельности для создания поэтажных планов

М.С. Чуприн¹

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Россия
 chuprin.max@yandex.ru

цитирование Чуприн М.С. Применение переносного лазерного сканирования, основанного на технологии одновременной локализации и построения карты, в кадастровой деятельности для создания поэтажных планов // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 91–104. DOI:10.30533/GiA-2026-021.

ключевые слова поэтажный план, кадастровые работы, переносное лазерное сканирование по технологии одновременной локализации и построения карты, вычисление площади, оценка точности вычисления площадей

аннотация В статье рассматривается применение технологии переносного лазерного сканирования (ПЛС) в кадастровой деятельности при создании поэтажных планов зданий и помещений. Разобраны основные положения действующих государственных стандартов по применению ПЛС. Проанализированы преимущества ПЛС перед традиционными методами обмеров с использованием лазерного дальномера: сокращение трудозатрат, снижение влияния человеческого фактора, возможность детального моделирования и последующего построения трехмерных моделей. Описан эксперимент по сканированию этажа многоквартирного дома на заключительном этапе строительства с использованием мобильного лазерного сканера XGRIDS LixelKity K1: выполнены два цикла сканирования (с опорными точками и без), результаты обработаны в программном обеспечении LixelStudio и nanoCAD. Составлено пять вариантов поэтажных планов, проведено сравнение их точности, временных затрат и стоимости оборудования. Выявлено, что ПЛС обеспечивает достаточную точность и сокращает время съемки в сравнении с ручными обмерами. Предложена технологическая схема формирования поэтажного плана на основе облака точек лазерного отражения, включающая подготовительный, полевой и камеральный этапы. Сделан вывод о том, что создание поэтажного плана в локальной системе координат с ортогонализацией по материалам ПЛС на основе технологии одновременной локализации и построения карты отвечает требованиям кадастра.

1 Введение

Создание поэтажных планов является основным технологическим процессом кадастровых работ в отношении объектов капитального строительства. Именно поэтажный план предоставляет исходные данные для определения площадей помещений. Его составление связано с определением координат контура здания или сооружения. Существуют отраслевые нормативы, устанавливающие технические требования к результатам как в кадастровой деятельности^{1,2}, так и в сфере технической инвентаризации³. Самыми подробными являются стандарты кадастровой деятельности⁴, но все вышеуказанные документы не в полной мере описывают сам процесс производства работ. Несмотря на важность темы, существует не так много публикаций, освещающих технические аспекты обмеров и оформления планов.

Формирование поэтажного плана в специализированном программном продукте PlanTracer SL для кадастровых инженеров рассмотрено С.В. Коробковой⁵, осветившей специфику создания графических документов по результатам обмеров помещений лазерной рулеткой. Л.А. Максименко рассматривает приемы проведения измерений, нормативные допуски при контроле размеров, уделяет внимание проектной документации как одному из источников исходной информации при создании плана [1, 2]. В статье М.С. Чуприна, С.А. Григорьева [3] обобщены существующие практики, сделан вывод о необходимости разработки единой методики, включающей существующие и перспективные способы сбора пространственных данных.

Развитие технологии переносного лазерного сканирования (ПЛС)⁶ создало предпосылки для ее активного применения в кадастровой деятельности. При использовании в зданиях и помещениях данная технология максимально сокращает объем ручных измерений лазерной рулеткой. Основным мотивом применения ПЛС является возможность быстро и в большом объеме собирать пространственную информацию об объекте работ. Оборудование, работающее на основе технологии одновременной локализации и построения карты (*англ.* Simultaneous Localization and Mapping, SLAM), отличается доступностью, что ускорило процесс его внедрения в практическую деятельность. Кадастровые инженеры заинтересованы в автоматизации значительного объема ручной работы по обмеру помещений.

Однако у данной технологии существуют особенности, которые следует учитывать в кадастровой деятельности. Необходимо понимать, что сбор данных в виде облака точек лазерного отражения (ТЛО)⁷ является только одним из этапов определения пространственных характеристик объектов недвижимости,

1 Об установлении формы технического плана, требований к его подготовке и состава содержащихся в нем сведений: приказ Росреестра от 15 марта 2022 г. № П/0082. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/350112527> (дата обращения: 20.01.2026).

2 Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места: приказ Росреестра от 23 октября 2020 г. № П/0393. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/566321344> (дата обращения: 20.01.2026).

3 Об утверждении Инструкции о проведении учета жилищного фонда в Российской Федерации: приказ Минземстроя РФ № 37 от 4 августа 1998 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minzemstroja-rf-ot-04081998-n-37/> (дата обращения: 20.01.2026).

4 Стандарты кадастровой деятельности / под общ. ред. М.И. Петрушиной, А.Г. Овчинниковой. М.: Кадастр недвижимости, 2022. 204 с.

5 Коробкова С.В. Технология создания поэтажных планов // CADmaster. 2011. Т. 58, № 3. С. 56–58.

6 ГОСТ Р 72225-2025. Фототопография. Сканирование лазерное наземное. Технические требования. М.: Российский институт стандартизации, 2025. 23 с.

7 ГОСТ Р 70174-2022. Картография цифровая. Процессы создания элемента содержания «рельеф» цифровых топографических карт масштаба 1 : 25 000. Общие требования. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 10 с.

в особенности помещений и зданий. К таким характеристикам нужно в первую очередь отнести поэтажный план, который служит основой для расчета площади объекта, но не стоит забывать о том, что сам поэтажный план невозможно составить без определения наружного контура этажа здания. Таким образом, даже на этапе сбора данных речь должна идти о комплексной методике определения пространственных характеристик и моделирования объектов капитального строительства для целей кадастрового учета, которая должна решить такие задачи, как:

- классификация объектов кадастровых работ;
- выбор и описание особенностей методов измерений;
- обработка данных и создание векторной модели (поэтажного плана);
- вычисление площадей и оценка точности результатов моделирования.

В данной статье речь пойдет об особенностях применения ПЛС в ходе кадастровой деятельности в отношении помещений и зданий. Стоит отметить важные для предлагаемого исследования публикации с обзором практических экспериментов по применению SLAM в смежных отраслях. В статье [4] описан метод определения местоположения мобильного робота в наиболее сложных для технологии переносного сканирования условиях: вытянутых протяженных коридорах и подземной угольной шахте со схожей геометрией. В работе [5] сравниваются по эффективности различные алгоритмы SLAM при использовании строительным роботом на строительной площадке примерной площади застройки 27 000 кв. м в условиях значительного количества материалов и оборудования, создающих шум в облаке ТЛО. В статье [6] сделан вывод о преимуществе переносного сканирования для решения задач с более низким допуском по точности. Отдельные авторы описывают общий принцип работы оборудования и основные источники ошибок, подчеркивают важность дешифрирования информации в облаке ТЛО и обеспечения возможности использовать информацию о форме объектов в целом, а не просто о точности определения местоположения контрольных точек [7]. Вопросы классификации для автоматической обработки облака ТЛО рассматриваются в статье [8]. Более подробно механизм сегментации облака ТЛО, содержащего априорно неизвестные объекты, изложен в работе [9]. Данный подход имеет перспективы для применения внутри эксплуатируемых помещений, обеспечивая распознавание именно строительных конструкций. В статье [10] описан процесс выявления перепланировок и (или) реконструкции внутри помещений. Для сбора данных использовалось лазерное сканирование, анализ данных проводился как в автоматическом, так и в ручном режиме. Подобный метод сбора пространственных данных о помещении признан перспективным для развития трехмерного кадастра, отмечается необходимость продолжения исследований в части преобразования данных лазерного сканирования в трехмерную векторную модель. В работе [11] рассматриваются вопросы создания трехмерной модели объектов недвижимости с применением как технологий информационного моделирования (ТИМ), так и фактических измерений согласно международным стандартам. Другие авторы рассматривают пример использования ТИМ для хранения кадастровых данных в трехмерном виде. Наиболее подходящим классом для моделирования признается IfcSpace, а лучшим форматом для геометрии моделей — DWG. Файлы, созданные в системе автоматизированного проектирования (САПР), предлагается в дальнейшем использовать на ТИМ-платформах. Лазерное сканирование признается эффективным инструментом для сбора трехмерных данных. В моделировании важное значение придается детализации, при этом отмечается, что слишком высокие уровни детализации могут быть избыточны для целей кадастра [12]. В работах [13, 14] подробно разобраны вопросы геодезического обоснования для создания трехмерного кадастра, разработана и обоснована система соответствующих нормативных допусков. В статье [15] вышеуказанные положения развиваются для применения фотограмметрии.

2 Материалы и методы

Основным преимуществом технологии ПЛС является сокращение трудозатрат на замеры помещений с возможностью выполнять более детальное моделирование, не используя абрис с нанесением размеров, и тем самым исключить человеческий фактор. Результатом сканирования является облако ТЛО⁸, которое в дальнейшем импортируется в среду САПР и используется для обратного моделирования объекта. На данный момент в отечественном нормативном поле уже существуют документы, регламентирующие процесс получения и первичной обработки облака ТЛО. Рассмотрим основные положения сканирования помещений.

Для работы применяется система лазерного сканирования⁸, которая должна быть внесена в реестр средств измерений и проходить поверку с установленной периодичностью⁹. Основными метрологическими характеристиками подобных систем при выборе для решения практических задач являются абсолютные погрешности измерения длины и определения координат точек⁹.

В состав системы лазерного сканирования должны входить:

- лидар;
- накопитель памяти;
- аккумулятор питания внутренний (внешний);
- блок управления системой.

Дополнительно могут использоваться:

- фотокамеры;
- инерциальная навигационная система;
- одомер⁹.

Следует отметить, что указанные дополнительные элементы применяются во всех моделях оборудования, представленных на рынке. При сканировании объекта маршрут должен начинаться и заканчиваться на точке старта. Протяженность не должна превышать 2 км (или 30 минут непрерывной съемки). В неблагоприятных условиях эти значения могут быть уменьшены. Для повышения точности, соединения различных сессий сканирования с перекрытиями или в случае невозможности спланировать замкнутый маршрут в ходе движения сканер должен устанавливаться на опорные точки¹⁰. Как правило, используется не менее трех опорных и трех контрольных точек. Контрольные точки, распознаваемые в итоговом облаке ТЛО, применяются для оценки точности обработки и (или) соединения различных облаков ТЛО. Координаты опорных и контрольных точек должны быть определены в прямоугольной системе с точностью, в 2,5–3 раза превышающей результирующую точность съемки объекта сканирования^{10,11}. Следует уделять внимание закреплению опорных и контрольных точек для обеспечения возможности проверки результатов работ¹⁰. Помимо оценки точности на практике облако ТЛО в ходе подготовки поэтажного плана нужно проверять на наличие искажений, коллизий или артефактов. Для этих целей удобнее всего использовать фотографии, выполненные штатным фотоаппаратом сканирующей системы. Выявленные недочеты следует учитывать и локально при повторном выходе на объект снимать недостающие размеры. При соблюдении вышеуказанной технологии артефакты в облаке ТЛО могут быть вызваны захлапленностью помещений или недостаточной освещенностью. Если невозможно обеспечить штатное освещение объекта,

8 ГОСТ Р 70174-2022. Картография цифровая. Процессы создания элемента содержания «рельеф» цифровых топографических карт масштаба 1 : 25 000. Общие требования. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 10 с.

9 ГОСТ Р 70689-2023. Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Общие требования к проведению работ. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 23 с.

10 ГОСТ Р 72225-2025. Фототопография. Сканирование лазерное наземное. Технические требования. М.: Российский институт стандартизации, 2025. 23 с.

11 ГОСТ Р 71863-2024. Фототопография. Лазерное сканирование. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2024. 24 с.

оператор сканирующей системы может использовать носимую подсветку. Результатом полевого этапа работ становится облако ТЛО, уравненное и очищенное от шумов, а при необходимости сшитое из различных частей с наложением истинного цвета точек. ГОСТ Р 72225-2025 устанавливает, что должна быть обеспечена оценка точности с генерацией текстовых отчетов.

В соответствии с вышеизложенными требованиями был выполнен эксперимент с использованием оборудования, информация о котором представлена в табл. 1.

Таблица 1 
Используемое оборудование
Table 1
Equipment used

Тип	Модель	Номер сертификата	Заводской номер	Свидетельство о поверке
Электронный тахеометр	SOUTH N40	77919-20	276549	С-ГСХ/24-11-2025/483489330 от 24.11.2025 до 23.11.2026
Лазерный дальномер	Leica DISTO S910	60792-15	5192330077	С-ГСХ/24-11-2025/483489329 от 24.11.2025 до 23.11.2026
Сканер лазерный мобильный	XGRIDS LixelKity K1	95947-25	A443C3	С-ВХН/17-11-2025/483076230 от 17.11.2025 до 16.11.2026

Было проведено ПЛС этажа многоквартирного дома после завершения строительных и до завершения отделочных работ. Сканирование было выполнено дважды: в первом случае с замыканием на начальную точку без использования опорных точек, а во втором — с замыканием на начальную точку с использованием опорных точек. Протяженность маршрута сканирования составила 642,67 м. Кроме того, геодезическим методом с помощью электронного тахеометра были определены координаты опорных и контрольных точек (рис. 1) в условной прямоугольной системе этажа здания. Средняя квадратическая погрешность (СКП) определения координат составила 0,003 м в плане и 0,002 м по высоте.

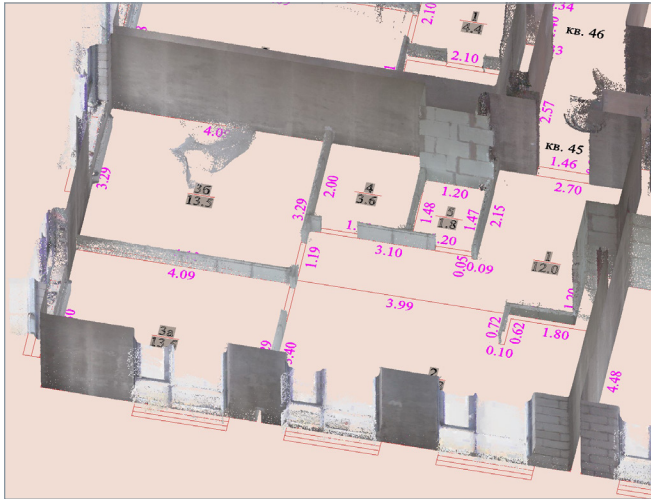
В программном продукте LixelStudio были обработаны оба маршрута сканирования, готовые облака ТЛО импортированы в САПР nanoCAD для создания поэтажного плана (рис. 2).

По результатам оценки точности СКП определения местоположения контрольных точек внутри ТЛО составила 0,014 м в плане и 0,022 м по высоте. На основании обоих облаков ТЛО созданы два типа поэтажных планов: в первом случае без учета приведения формы комнат к виду прямоугольников, что позволило учитывать при расчете площади неидеальную геометрию строительных конструкций (стен и перегородок) и рассчитать площади комнат по координатам характерных точек вершин полигонов с использованием формулы Гаусса; во втором случае — с приведением к прямым углам, т. е. к ортогонализации

Рис. 1 
Закрепление опорных и контрольных точек (фото М.С. Чуприна)
Fig. 1
Fixing reference and control points (photo by Maksim S. Chuprin)

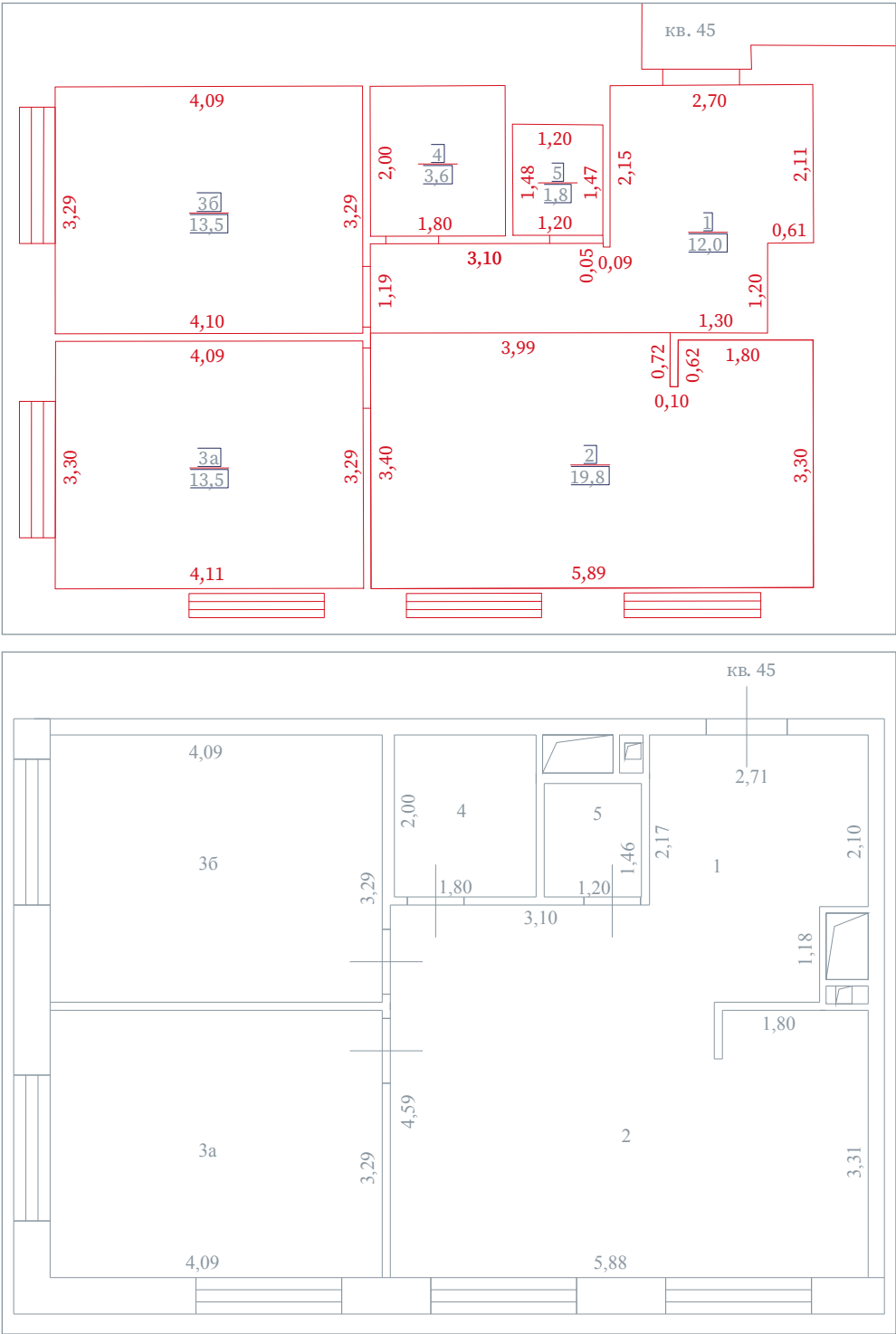


Рис. 2 
Облако ТЛО в среде САПР
Fig. 2
Point cloud in CAD



линий на плане, что некоторым образом исказило линейные размеры, но позволило в дальнейшем рассчитывать площади путем разбиения на простые геометрические фигуры. СКП линейных измерений M_s была определена на основе средней величины неравноности стен¹² и составила 0,020 м (рис. 3).

Рис. 3 
Сравнение фрагментов
двух типов поэтажных планов
Fig. 3
Comparisons of two types
of floor plans



Поэтажные планы чертились путем создания векторного слоя разреза облака ТЛО на высоте сечения до 1,10 м от уровня пола. Кроме того, лазерной рулеткой были выполнены обмеры. Размеры помещений наносились на абрис, в качестве

¹² СТО 11468812.005-2025. Типовой стандарт осуществления кадастровой деятельности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ki-rf.ru/standart/> (дата обращения: 20.01.2026).

которого использовался лист проектной документации здания. После этого в среде САПР nanoCAD с учетом ортогонализации углов примыканий строительных конструкций был создан поэтажный план. Таким образом, в отношении исследуемого объекта (этажа строящегося многоквартирного дома) было создано пять вариантов поэтажного плана по материалам:

- 1) сканирования с использованием опорных точек и без ортогонализации отрезков;
- 2) сканирования с использованием опорных точек с ортогонализацией отрезков;
- 3) сканирования без использования опорных точек и без ортогонализации отрезков;
- 4) сканирования без использования опорных точек с ортогонализацией отрезков;
- 5) обмеров лазерной рулеткой с ортогонализацией отрезков.

К каждому из вышеперечисленных вариантов составлена экспликация помещений, проведена оценка точности вычисления площадей (на этаже расположено 13 помещений, из них 7 квартир и 6 нежилых помещений общей площадью, согласно проектной документации, 516,4 кв. м).

Таблица 2 

Сравнительные характеристики
поэтажных планов

Table 2

Comparative characteristics
of floor plans

3 Результаты и обсуждение

По результатам обработки измерений проведено сравнение итоговых поэтажных планов и экспликаций (табл. 2).

Характеристика	Варианты поэтажного плана				
	1	2	3	4	5
Площадь, кв. м	519,0	520,0	520,2	520,7	521,8
СКП определения местоположения координат / СКП линейных измерений, м	0,014	0,020	0,014	0,020	0,020
СКП вычисления площади, кв. м	0,11	0,73	0,11	0,73	0,42
Количество измеренных длин отрезков	662	662	662	662	130
Время съемки, мин.	52	10	52	10	57
Время камеральной обработки, мин.	120	140	110	140	120
Количество выявленных ошибок	0	0	0	0	2
Время дополнительных замеров, мин.	0	0	0	0	20
Общее время выполнения работ, мин.	172	150	162	150	197
Возможность использования для построения трехмерной модели	+	+	+	+	–
Состав комплекта оборудования	Компьютер с выделенной видеокартой, лазерный сканер, тахеометр	Компьютер с выделенной видеокартой, лазерный сканер, тахеометр	Компьютер с выделенной видеокартой, лазерный сканер	Компьютер с выделенной видеокартой, лазерный сканер, тахеометр	Компьютер, лазерный дальномер
Стоимость комплекта оборудования, млн руб.	1,80	1,80	1,45	1,45	0,20

Суммарная площадь помещений этажа в каждом варианте отличается незначительно. В вариантах 1 и 3 для расчета применялась формула СКП площади застройки сооружения¹³, т. к. по своей конфигурации отдельные помещения близки к правильным геометрическим фигурам, как и сооружения, и в качестве параметров используют координаты характерных точек контура, СКП определения их местоположения, определенное выше (0,014 м в плане). Для вариантов 2, 4, 5 применялись рекомендуемые формулы СКП¹³. Сравнение результатов показало, что при незначительном разбросе значений линейных размеров и площадей для пар вариантов 1 и 3, 2 и 4 СКП площади равны.

В результате обработки измерений было подсчитано количество отрезков, используемых при составлении планов. Варианты, основанные на обработке ТЛО, кратно превышают по количеству измерений обмеры рулеткой. Кроме того, большее по сравнению с рулеткой количество выполненных измерений позволило точно указать на плане местоположение оконных и дверных проемов. В случае с обмерами лазерной рулеткой для окончательного оформления плана использовалась проектная документация, дополнительно пришлось затратить время на фотофиксацию объекта. Избежать грубых ошибок при неверной записи размеров в абрис не получилось (понадобилось дополнительно выезжать для определения контрольных размеров), при составлении планов по облаку ТЛО — удалось. Для дешифрирования облака в зонах плохой видимости использованы фотографии со встроенных в оборудование фотокамер. Кроме того, облако ТЛО можно в дальнейшем применять и для составления трехмерной модели.

На сканирование затрачивается гораздо меньше времени, чем на обмеры лазерной рулеткой, но в случае с координированием опорных и контрольных точек трудозатраты почти одинаковы.

Камеральная обработка облаков ТЛО разделена на два этапа. На первом выполняется уравнивание и экспорт материалов в САПР, где проходит непосредственно черчение. Камеральная обработка при обмерах лазерной рулеткой длится несколько меньше, но разница нивелируется из-за дополнительных временных затрат на повторный выезд. В облаке ТЛО тоже могут присутствовать дефекты, которые потребуют дополнительного выезда на объект работ для контрольных измерений. Автор имеет практический опыт обмерных работ с 2014 года, применял ПЛС в кадастровых работах не только на исследуемом объекте, а за 2025 год принимал участие в сканировании и обработке его результатов на объектах общей площадью чуть более 250 тыс. кв. м. В случае соблюдения технологии выполнения работ объем повторных измерений, как правило, незначительный. Обычно подобными проблемными местами являются отдельные комнаты, размеры которых уточняются лазерной рулеткой. Чаше повторные выезды на сканирование обусловлены проблемами обеспечения доступа к некоторым помещениям по производственным причинам.

При общем сравнении технологии выполнения обмеров лазерной рулеткой и ПЛС можно сделать вывод о том, что в случае выполнения кадастровых работ в отношении объектов значительной площади резко растет количество ошибок, вызванных человеческим фактором. Чаше всего таковыми являются ошибки записи размера на абрис. При применении ПЛС человеческий фактор менее значим.

Еще одним важным аспектом сравнения технологий является стоимость комплекта оборудования. При этом ПЛС обеспечивает гораздо более высокую производительность работ и качество получаемых результатов.

Расхождение между приведенным и неортогонализированным поэтажным планом заложено нормативами по точности строительных работ. При этом

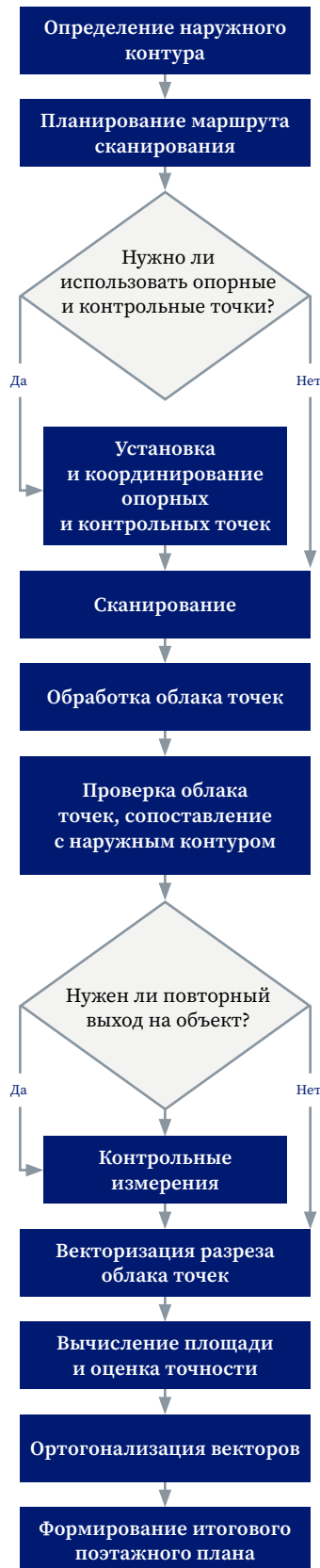
13 Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места: приказ Росреестра от 23 октября 2020 г. № П/0393. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/566321344> (дата обращения: 20.01.2026).

Рис. 4 ▼

Блок-схема последовательности работ по созданию поэтажного плана

Fig. 4

Block diagram sequence of work on creating a floor plan



на практике отсутствует традиция или необходимость вычерчивать поэтажный план с учетом кривизны, которая чаще всего не видна из-за графической точности масштаба, составляющей 5 мм в масштабе плана. Согласно государственному стандарту¹⁴, строительные допуски изменяются в значительном интервале от единиц миллиметров до десятков сантиметров в зависимости от важности элемента. Предусмотрены допуски линейных размеров, прямолинейности, перпендикулярности, равенства диагоналей, разбивки точек осей в плане и др. В ходе кадастровой деятельности уточнять класс строительной точности всех конструкций не представляется возможным, т. к. он не маркируется в проектной документации. Одновременно с этим единственным нормативным требованием к площади объекта в кадастровой деятельности является допуск на расхождение в 5 % относительно площади, указанной в разрешении на строительство здания¹⁵. На практике застройщики в договорах с инвесторами (в том числе физическими лицами) могут указывать предельные расхождения фактической и проектной площади помещений в 1 кв. м или 1 % от проектных значений, что допускается принципом свободы договора¹⁶. При этом сама по себе идея отказа от подсчета площадей помещений путем разбиения на простые геометрические фигуры привлекает снижением временных затрат при кадастровых работах, но одновременно перед кадастровым инженером стоит задача обеспечения достаточной точности в условиях нормативной неопределенности допуска за приведение к ортогональности. В такой ситуации для определения площадей помещений и указания линейных размеров предлагается использовать максимально точные данные, которые можно быстро собрать, используя технологию ПЛС, а для формирования непосредственно графического документа ортогонализировать отрезки, составляющие план, до вида, традиционно применяемого как в строительстве, так и в системе учета недвижимости. По результатам исследования составлена блок-схема последовательности работ по созданию поэтажного плана на основе облака ТЛО, полученного по итогам ПЛС (рис. 4).

Общая технологическая схема формирования поэтажного плана по результатам ПЛС состоит из нескольких этапов. Первым из них является подготовительный, который включает определение координат наружного контура этажа геодезическим или комбинированным методом, изучение исходных плановых материалов и (или) рекогносцировка с целью спланировать маршрут ПЛС. Полевой этап подразумевает непосредственно сканирование и координирование опорных и контрольных точек (при необходимости). Камеральный этап включает уравнивание облака ТЛО, проверку на наличие грубых ошибок, контрольные измерения (при необходимости), векторизацию сечения облака ТЛО, формирование итогового поэтажного плана и экспликации. Дальнейшими направлениями исследования станут автоматизация при векторизации облаков ТЛО, выбор условных знаков при составлении поэтажного плана с учетом различных уровней детализации плана или трехмерной модели.

4 Выводы

Создание поэтажного плана стен в локальной системе координат с ортогонализацией по материалам ПЛС на основе технологии SLAM отвечает требованиям

14 ГОСТ Р 58942-2020. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски. М.: Стандартинформ, 2020. 16 с.

15 О государственной регистрации недвижимости: Федеральный закон от 13 июля 2015 г. № 218-ФЗ (редакция от 28 декабря 2025 г.). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102054722> (дата обращения: 20.01.2026).

16 Гражданский кодекс Российской Федерации. Часть первая от 30 ноября 1994 г. № 51-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102033239> (дата обращения: 26.01.2026).

кадастра. Показан практический пример использования данной технологии в кадастровых работах, проведено сравнение с классической технологией обмеров. Проанализированы положения государственных стандартов, применяемые к ПЛС помещений. Исследование может послужить основой для широкого практического применения данной технологии.

библиография

1. Максименко Л.А. Оформление графической части технического плана помещения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Международный научный конгресс: Международная научная конференция «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью»: сборник материалов в 4 т. Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 3. С. 87–91.
2. Максименко Л.А. О подготовке технических планов объектов недвижимости // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Международный научный конгресс: Международная научная конференция «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью»: сборник материалов в 2 т. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. С. 192–198.
3. Чуприн М.С., Григорьев С.А. Анализ методов сбора пространственных данных для формирования эксплуатационной модели здания и последующего кадастрового учета // Управление объектами недвижимости и комплексное развитие территорий: сборник статей III Международного научно-практического семинара. СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2024. С. 204–211.
4. Yang X., Lin X., Yao W., et al. A Robust LiDAR SLAM Method for Underground Coal Mine Robot with Degenerated Scene Compensation // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. Iss. 1. P. 186. DOI:10.3390/rs15010186.
5. Feng C., Yu J., Li J., et al. Evaluation of LiDAR SLAM Algorithms for Construction Robots in Large Public Construction Sites // Low-carbon Materials and Green Construction. 2025. Vol. 3. P. 28. DOI:10.1007/s44242-025-00092-8.
6. Шереметинский А.В. Сравнительный анализ применения наземного и SLAM-сканирования при обследовании строительных конструкций // Актуальные вопросы и инновации в обследовании строительных конструкций зданий и сооружений: сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: СФУ, 2025. С. 11–15.
7. Комиссаров А.В., Арбузов С.А., Дедкова В.В. Методика исследования точности измерений сканеров SLAM // Геодезия и картография. 2025. Т. 86, № 11. С. 27–32. DOI:10.22389/0016-7126-2025-1025-11-27-32.
8. Сай С.В., Зинкевич А.В. Метод семантической сегментации данных воздушного лазерного сканирования водоохранных зон // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2025. Т. 25, № 1. С. 68–77. DOI:10.17586/2226-1494-2025-25-1-68-77.
9. Воронков А.Д. Сегментация облака точек с неизвестными объектами с помощью метода VCCS и динамической графовой сверточной нейронной сети // ИТ-Стандарт. 2023. Т. 37, № 4. С. 25–35.
10. Koeva M., Nikoohemat S., Oude Elberink S., et al. Towards 3D Indoor Cadastre Based on Change Detection from Point Clouds // Remote Sensing. 2019. Vol. 11. Iss. 17. P. 1972. DOI:10.3390/rs11171972.
11. Vučić N., Vranić S., Sutherland M., et al. Registration of Apartments and Office Spaces in 3D Land Administration – A Case Study in Croatia // Land Use Policy. 2024. Vol. 142. P. 107187. DOI:10.1016/j.landusepol.2024.107187.
12. Bryant B., Agha Karimi A., Atazadeh B., et al. Modelling 3-Dimensional Cadastral Boundaries in a BIM Environment: A Case Study Using Volumetric Format Plans in Queensland, Australia // International Journal of Digital Earth. 2025. Vol. 18. Iss. 1. P. 2518578. DOI:10.1080/17538947.2025.2518578.
13. Аврунев Е.И., Гиниятов А.И. Технологическая схема создания геодезического обеспечения для целей трехмерного кадастра недвижимости // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Международный научный конгресс: сборник материалов в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2022. Т. 3. С. 49–55. DOI:10.33764/2618-981X-2022-3-49-55.

14. Аврунев Е.И., Гиниятов А.И. Разработка системы нормативных допусков при создании геодезического обоснования для выполнения кадастровых работ в формате 3D // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67, № 3. С. 16–26. DOI:10.30533/GiA-2023-020.
15. Яковлева Н.Д. Обоснование требований к точности и параметрам 3D-кадастровой съемки на городских территориях с использованием наземного лазерного сканирования // Успехи современного естествознания. 2026. № 1. С. 51–57. DOI:10.17513/use.38472.

автор **Чуприн Максим Сергеевич**
 ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
 (МИИГАиК), Москва, Россия
 кафедра землеустройства и кадастров, факультет управления территориями
 0009-0001-7283-734X

Поступила 26.01.2026. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Handheld Laser Scanning with Simultaneous Localization and Mapping for Cadastral Floor Plan Creation

Maksim S. Chuprin¹✉

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ chuprin.max@yandex.ru

citation Chuprin MS. Handheld Laser Scanning with Simultaneous Localization and Mapping for Cadastral Floor Plan Creation. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 91–104. DOI:10.30533/GiA-2026-021.

keywords floor plan, cadastral works, LiDAR SLAM, calculating the area, evaluating the accuracy of calculating the area of apartments

abstract The article examines the application of LiDAR SLAM technology in cadastral activities for creating floor plans of buildings and premises. The main provisions of current state standards for the use of LiDAR SLAM are reviewed. The advantages of LiDAR SLAM over traditional measurement methods using a laser rangefinder are analysed, including reduced labour costs, decreased influence of the human factor, the possibility of detailed modelling, and the subsequent creation of 3D models. An experiment is described involving the scanning of a multi apartment building floor at the final stage of construction using the XGRIDS LixelKity K1 mobile laser scanner. Two scanning cycles were performed – with and without reference points – and the results were processed using the LixelStudio and nanoCAD software. Five variants of floor plans were created, and their accuracy, time requirements, and equipment costs were compared. It was found that LiDAR SLAM provides sufficient accuracy and reduces survey time compared to manual measurements. A technological scheme for generating a floor plan based on a point cloud of laser reflections is proposed, which includes preparatory, field, and office (cameral) stages. The conclusion is drawn that creating a floor plan in a local coordinate system with orthogonalisation based on LiDAR SLAM data meets cadastral requirements.

- references**
1. Maksimenko LA. Oformlenie graficheskoi chasti tekhnicheskogo plana pomeshcheniya [Design of the Graphic Part of the Technical Plan of the Room]. *Interexpo GEO-Siberia-2013. IX International Scientific Congress: International Scientific Conference "Economic Development of Siberia and the Far East. Economics of Environmental Management, Land Management, Forestry, Real Estate Management": collection of materials*. In 4 vols. Vol. 3. Novosibirsk: SSGA; 2013: 87–91. (In Russian).

2. Maksimenko LA. O podgotovke tekhnicheskikh planov ob'ektov nedvizhimosti [About Preparation of Technical Plans of Real Estate Objects]. *Interexpo GEO-Siberia-2014. X International Scientific Congress: International Scientific Conference "Economic Development of Siberia and the Far East. Economics of Environmental Management, Land Management, Forestry, Real Estate Management": collection of materials*. In 2 vols. Vol. 2. Novosibirsk: SSGA; 2014: 192–198. (In Russian).
3. Chuprin MS, Grigoriev SA. Analiz metodov sbora prostranstvennykh dannykh dlya formirovaniya ekspluatatsionnoi modeli zdaniya i posleduyushchego kadastravogo ucheta [Analysis of Spatial Data Collection Methods for the Formation of an Operational Model of a Building and Subsequent Cadastral Registration]. *Real Estate Management and Comprehensive Territorial Development: collection of articles from the III International Scientific and Practical Seminar*. St. Petersburg: St. Petersburg Mining University, 2024: 204–211. (In Russian).
4. Yang X, Lin X, Yao W, et al. A Robust LiDAR SLAM Method for Underground Coal Mine Robot with Degenerated Scene Compensation. *Remote Sensing*. 2023;15(1): 186. DOI:10.3390/rs15010186.
5. Feng C, Yu J, Li J, et al. Evaluation of LiDAR SLAM Algorithms for Construction Robots in Large Public Construction Sites. *Low-carbon Materials and Green Construction*. 2025;3: 28. DOI:10.1007/s44242-025-00092-8.
6. Sheremetinskii AV. Sravnitel'nyi analiz primeneniya nazemnogo i SLAM-skanirovaniya pri obsledovanii stroitel'nykh konstrukttsii [Comparative Analysis of the Use of Ground and SLAM Scanning in the Examination of Building Structures]. *Current Issues and Innovations in the Examination of Building Structures. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Krasnoyarsk: SibFU; 2025: 11–15. (In Russian).
7. Komissarov AV, Arbuzov SA, Dedkova VV. Metodika issledovaniya tochnosti izmerenii skanerov SLAM [A Methodology for Studying the Measurement Accuracy of SLAM Scanners]. *Geodesy and Cartography*. 2025;86(11): 27–32. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2025-1025-11-27-32.
8. Sai SV, Zinkevich AV. Metod semanticheskoi segmentatsii dannykh vozdušnogo lazernogo skanirovaniya vodookhrannykh zon [Method of Semantic Segmentation of Airborne Laser Scanning Data of Water Protection Zones]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2025;25(1): 68–77. (In Russian). DOI:10.17586/2226-1494-2025-25-1-68-77.
9. Voronkov AD. Segmentatsiya oblaka tochek s neizvestnymi ob'ektami s pomoshch'yu metoda VCCS i dinamicheskoi grafovoi svertochnoi neironnoi seti [Segmentation of a Point Cloud with Unknown Objects Using the VCCS Method and a Dynamic Graph Convolutional Neural Network]. *IT-Standard*. 2023;37(4): 25–35. (In Russian).
10. Koeva M., Nikoohemat S., Oude Elberink S., et al. Towards 3D Indoor Cadastre Based on Change Detection from Point Clouds. *Remote Sensing*. 2019;11(17): 1972. DOI:10.3390/rs11171972.
11. Vučić N, Vranić S, Sutherland M, et al. Registration of Apartments and Office Spaces in 3D Land Administration – A Case Study in Croatia. *Land Use Policy*. 2024;142: 107187. DOI:10.1016/j.landusepol.2024.107187.
12. Bryant B, Agha Karimi A, Atazadeh B, et al. Modelling 3-Dimensional Cadastral Boundaries in a BIM Environment: A Case Study Using Volumetric Format Plans in Queensland, Australia. *International Journal of Digital Earth*. 2025;18(1): 2518578. DOI:10.1080/17538947.2025.2518578.
13. Avrunev EI, Giniyatov AI. Tekhnologicheskaya skhema sozdaniya geodezicheskogo obespecheniya dlya tselei trekhmernogo kadastra nedvizhimosti [Technological Scheme for the Creation of Geodetic Support for Purposes of a Three-Dimensional Real Estate Cadastre]. *Interexpo GEO Siberia: Proceedings of the XVIII International Scientific Congress*. In 8 vols. Vol. 3. Novosibirsk: SSUGT; 2022: 49–55. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2022-3-49-55.
14. Avrunev EI, Giniyatov AI. Razrabotka sistemy normativnykh dopuskov pri sozdanii geodezicheskogo obosnovaniya dlya vypolneniya kadastrovykh rabot v formate 3D [Development of a System of Standard Tolerances for Creating Geodetic Justification for Performing Cadastral Works in 3D Format]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2023;3: 16–26. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2023-020.

15. Yakovleva ND. Obosnovanie trebovaniy k tochnosti i parametram 3D-kadaastrovoi s"emki na gorodskikh territoriyakh s ispol'zovaniem nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Justification of Requirements for Accuracy and Parameters of 3D Cadastral Surveying in Urban Areas Using Terrestrial Laser Scanning]. *Advances in Current Natural Sciences*. 2026;1: 51–57. (In Russian). DOI:10.17513/use.38472.

author **Maksim S. Chuprin**

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Land Management and Cadastre, Faculty of Territorial Management
 0009-0001-7283-734X

Submitted: January 26, 2026. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.



Методика анализа территории при установлении охранных зон особо охраняемых природных территорий

В.Ф. Ковязин¹, Е.А. Богданова^{1✉}, Я.А. Волкова²

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

✉ elisaveta_b@mail.ru

цитирование

Ковязин В.Ф., Богданова Е.А., Волкова Я.А. Методика анализа территории при установлении охранных зон особо охраняемых природных территорий // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 105–117. DOI:10.30533/GiA-2026-017.

ключевые слова

охранная зона, особо охраняемая природная территория, зона с особыми условиями использования территории, кадастровый план территории, Единый государственный реестр недвижимости, граница

аннотация

Статья посвящена разработке эффективной методики анализа территории для обоснования установления охранных зон (ОЗ) особо охраняемых природных территорий (ООПТ) с использованием данных Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН). Основная цель исследования заключалась в создании комплексного подхода, позволяющего всесторонне анализировать землепользование и формировать научно обоснованные рекомендации по установлению ОЗ ООПТ. Для этого предложена последовательность этапов, включающая сбор, систематизацию и анализ кадастровой информации из ЕГРН (земельные участки, объекты капитального строительства, зоны с особыми условиями использования территорий). В результате разработана методика, обеспечивающая комплексный анализ территории с учетом кадастровой информации. Методика позволяет оценить существующую антропогенную нагрузку через ключевые показатели интенсивности использования территории (коэффициент использования территории, плотность земельных участков, индекс разнообразия видов разрешенного использования земельных участков) и сформулировать обоснованные рекомендации по установлению ОЗ ООПТ. Такой подход оптимизирует процесс установления ОЗ, сокращая временные затраты и повышая эффективность работы специалистов. Результаты исследования вносят вклад в практику установления охранных зон ООПТ и способствуют повышению эффективности охраны природных ресурсов.

1 Введение

Реестр границ в составе Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) играет ключевую роль в регулировании земельных отношений, т. к. позволяет дифференцировать территорию по определенному признаку (или их набору). Например, территории опережающего развития направлены на стимулирование экономики: в таких зонах предоставление земельных участков (ЗУ) и передача объектов недвижимости имеют упрощенное регулирование. Территориальные зоны позволяют организовать деление площади муниципальных образований на части, исходя из совокупности видов разрешенного использования ЗУ и градостроительных регламентов. Отдельное место занимают зоны с особыми условиями использования территории (ЗОУИТ), поскольку подразумевают определенные ограничения или запрещение хозяйственной деятельности.

Ввиду того что система земельных отношений в Российской Федерации начала формироваться задолго до появления современного взгляда на ЗОУИТ, данный институт сталкивается со множеством проблем. В работе [1] отмечается, что установленными считаются не только те ЗОУИТ, которые внесены в ЕГРН, но и зоны, установленные до 1 января 2026 года в соответствии с ч. 8 ст. 26 закона 342-ФЗ¹. В статье В.А. Субботинской [2] сделан вывод, что законодательство в области установления ЗОУИТ регулярно претерпевает изменения, а С.А. Мамонтова и А.С. Вахмянина [3], в свою очередь, указывают на недостаточное и неактуальное информационное и картографическое обеспечение работ. При этом, по мнению ряда исследователей [4, 5], проблемы при установлении ЗОУИТ связаны с недостаточностью информации о существующих на местности объектах и отсутствием унифицированных методик оценки воздействия режимобразующих объектов. Качество работ, обеспечивающих точное определение границ ЗОУИТ, играет ключевую роль в эффективности управления территориями [6–8].

В самой природе ЗОУИТ заложен конфликт интересов: с одной стороны, лица, в чью пользу устанавливаются ограничения, часто заинтересованы в максимально строгих запретах, а с другой — правообладатели объектов недвижимости стремятся к минимизации ограничений [9, 10]. Для сохранения баланса между сторонами, как отмечают Д.А. Айтжанова и Е.И. Баранова [11, 12], необходим дополнительный анализ территории и объекта, в отношении которого устанавливаются ЗОУИТ. Стоит отметить, что данный механизм уже успешно работает в отношении объектов культурного наследия, для которых зоны охраны устанавливаются в соответствии с результатами историко-культурной экспертизы [13, 14]. Экстраполяция данного подхода на установление границ и режима охраны особо охраняемых природных территорий (ООПТ) чрезвычайно важна, т. к. эти объекты создаются для сохранения биоразнообразия, защиты уникальных природных комплексов и обеспечения рационального природопользования, а любые изменения таких территорий чаще всего необратимы.

Анализ практического опыта установления охранных зон (ОЗ) ООПТ регионального значения (ввиду их численного преобладания) в различных субъектах показал, что вне зависимости от целей создания ООПТ охранную зону предпочитают устанавливать в размере 50 м по периметру ООПТ либо же унифицируют данное значение в зависимости от региона. Кроме того, режим охраны в большинстве исследованных ОЗ предполагает идентичный набор ограничений, включая запрет главных рубок леса, разведения костров, антропогенного воздействия и размещения коммунальных отходов.

Разработка методики определения оптимальной конфигурации и размеров ОЗ должна включать оценку как факторов негативного воздействия, так и социально-экономических особенностей региона. Оценка факторов негативного воздействия позволяет определить оптимальную конфигурацию охранной зоны,

1 О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 3 августа 2018 г. № 342-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43495?ysclid=mp8cv45i9i32222079> (дата обращения: 10.11.2025).

обеспечивающую надежную защиту ООПТ. Под оценкой социально-экономических особенностей понимается определение специфики землепользования, развитости инфраструктуры, а также существующих видов природопользования вблизи границ ООПТ.

Целью данного исследования является разработка методики анализа территории для установления охранных зон ООПТ.

В ходе исследования решены следующие задачи: проведен анализ научной литературы и нормативно-правовой базы для обоснования актуальности и разработки методического подхода; разработана методика анализа территории, включающая определение основных показателей и алгоритмов расчета; разработанная методика для оценки ее применимости и эффективности апробирована на проектируемой ОЗ ООПТ; сформулированы выводы о возможности проектирования ОЗ с использованием разработанной методики, а также определены направления для дальнейших исследований.

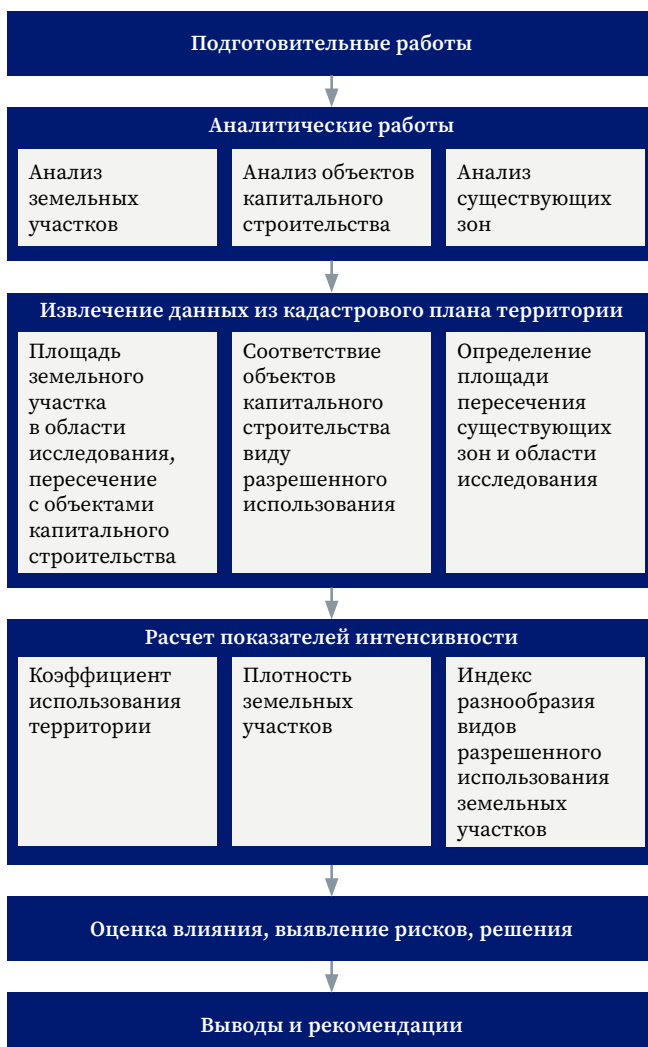
2 Материалы и методы

Рис. 1 

Методика анализа территории для установления охранный зоны ООПТ

Fig. 1

Methodology of territory analysis for establishing a protected zone of a protected area



Анализ территорий — это комплексная процедура, включающая сбор, анализ и визуализацию данных о различных аспектах территории и применяемая с целью выявления рисков, оптимизации использования и обеспечения соответствия требованиям действующего законодательства. Этапы анализа приведены на рис. 1 и включают подготовительные и собственно аналитические работы.

В рамках *подготовительных работ* на основании комплексных экологических исследований определяются ориентировочные границы охранный зоны ООПТ и собираются сведения, содержащиеся в ЕГРН (кадастровые планы территории [КПТ]), а также документы территориального планирования.

Аналитические работы предполагают комплексный подход к изучению территории. В первую очередь из данных ЕГРН извлекаются сведения о границе самой ООПТ, если она установлена, или рассматриваются проектируемые границы ООПТ, т. к. точная геометрия границ является основой для определения параметров ОЗ. Далее необходимо извлечь данные об объектах недвижимости, расположенных в ориентировочной ОЗ. На основании полученных данных специалисты, проводящие обследование территории, оценивают потенциальное антропогенное воздействие на природные комплексы, связанное с существующей застройкой, характером землепользования и инфраструктурой, которые могут провоцировать, например, деградацию почв, загрязнение водных объектов, шумовое и световое загрязнение, вытеснение местных видов, нарушение экологических связей и деградацию уникальных природных ландшафтов. В рамках такой оценки определяются объекты недвижимости, расположенные в зоне, а также учитываются показатели, отражающие антропогенную нагрузку и специфику землепользования: площадь объектов капитального строительства (ОКС), плотность ЗУ, их количество, а также индекс разнообразия видов разрешенного

использования ЗУ. Результаты такой оценки служат основанием для подготовки рекомендаций, которые являются исходным материалом для принятия решений о необходимости корректировки вида разрешенного использования ЗУ, разработки компенсационных мероприятий или же о пересмотре конфигурации границ ОЗ ООПТ.

Из КПТ извлекаются данные о виде объекта, реестровом номере границы ЗОУИТ, наименовании, составе ограничений, площади зоны, о перечне ЗУ, полностью или частично попадающих в границы существующей зоны, а также о сроке установления и типе зоны. Определение площади пересечения ориентировочных границ ОЗ, ЗОУИТ и территориальных зон является важным для выявления потенциальных конфликтов интересов, связанных с разными ограничениями, для предопределения и устранения негативных последствий.

Расчет площади ЗУ в проектируемой ОЗ проводится для определения степени влияния проектируемой зоны на каждый ЗУ. Анализ пересечений с ОКС позволяет выявить объекты, оказывающие негативное влияние на охраняемый объект, и разработать необходимые ограничения хозяйственной деятельности.

Для всесторонней оценки территории исследования рассчитываются показатели интенсивности: коэффициент использования территории (КИТ), плотность ЗУ и индекс разнообразия видов разрешенного использования ЗУ. КИТ определяется как отношение площади застройки к общей площади рассматриваемой территории:

$$КИТ = \frac{\sum S_{ОКС}}{S_{ОЗ}},$$

где $\sum S_{ОКС}$ — суммарная площадь всех ОКС в проектируемой ОЗ ООПТ, кв. м; $S_{ОЗ}$ — площадь территории проектируемой ОЗ ООПТ, кв. м.

В проектируемой ОЗ ООПТ КИТ является ключевым показателем плотности застройки и, соответственно, степени антропогенного воздействия на природные системы. Диапазоны значений КИТ представлены в табл. 1.

Таблица 1 
Диапазоны значений
показателей интенсивности
использования территории
Table 1
Ranges of values for indicators
of the intensity of use
of the territory

Показатель	Значения показателя и их интерпретация					
	Низкое		Среднее		Высокое	
Коэффициент использования территории	≤ 0,2	Предпочтительное значение, обеспечивающее минимальное вмешательство в экосистемы	0,2–0,5	Допустимое значение, требующее учета экологических требований и установления ограничений на хозяйственную деятельность	≥ 0,5	Необходимость введения строгих ограничений хозяйственной деятельности
Плотность земельных участков, уч/м ²	≤ 0,01	Предпочтительное значение, обеспечивающее сохранение нетронутых территорий и минимальное воздействие хозяйственной деятельности	0,01–0,5	Допустимое значение, требующее контроля за развитием и соблюдения экологических норм для поддержания баланса	≥ 0,5	Сигнализирует о риске для экологической устойчивости ООПТ и необходимости принятия строгих природоохранных мер
Индекс разнообразия видов разрешенного использования земельных участков, % от максимального значения	≤ 30	Низкое разнообразие: высокая степень сохранения природных систем, минимизация негативного воздействия. Необходимые меры: сохранение и предотвращение расширения землепользования	30–70	Умеренное разнообразие: смешанное использование, требуется баланс между природой и хозяйственной деятельностью. Необходимые меры: введение природоохранных ограничений, контроль за хозяйственной деятельностью	≥ 70	Высокое разнообразие: значительное антропогенное воздействие на экосистемы. Необходимые меры: строгие ограничения хозяйственной деятельности, восстановление природного баланса, обеспечение экологической устойчивости

В дополнение к КИТ рассчитывается показатель плотности существующих ЗУ, который отражает соотношение количества ЗУ к площади территории:

$$2 \quad \rho_{ЗУ} = \frac{N_{ЗУ}}{S_{ОЗ}},$$

где $\rho_{ЗУ}$ — плотность существующих ЗУ;
 $N_{ЗУ}$ — количество ЗУ в проектируемой ОЗ ООПТ.

Анализ плотности ЗУ позволяет оценить интенсивность использования земельных ресурсов и плотность освоения территории. Диапазоны значений плотности ЗУ также представлены в табл. 1.

Для оценки устойчивости территории и выявления рисков анализируется разнообразие видов разрешенного использования ЗУ. Индекс разнообразия видов разрешенного использования ЗУ *ИРВИ* предлагается рассчитать по формуле индекса К.Э. Шеннона.

$$3 \quad ИРВИ = - \sum (p_i \ln (p_i)),$$

где p_i — доля ЗУ с конкретным видом разрешенного использования, вычисляемая следующим образом:

$$4 \quad p_i = \frac{N_{ВРИ}}{N_{ЗУ}},$$

где $N_{ВРИ}$ — количество ЗУ с конкретным видом разрешенного использования;
 $N_{ЗУ}$ — количество ЗУ в проектируемой ОЗ ООПТ.

Индекс разнообразия видов разрешенного использования ЗУ показывает, насколько разнообразно используется территория исследования. Диапазоны значений индекса представлены в табл. 1. Важно учитывать, что при малом количестве видов разрешенного использования ЗУ возможности индекса Шеннона в полной мере не раскрываются, поэтому интерпретация требует особой осторожности.

Диапазоны значений показателей интенсивности использования территории, представленные в табл. 1, предложены авторами с учетом специфики задач проектирования ОЗ ООПТ. Такие диапазоны определены как оптимальные и позволяющие классифицировать территории по уровню антропогенного воздействия. Данный подход служит основным инструментом для разработки оптимальных и научно обоснованных мероприятий по охране природной среды.

Анализ рассматриваемых показателей является основанием для планирования и проектирования новых ОЗ. На основе полученных данных формируется общий вывод о возможности использования выбранной территории (в целом и отдельных ЗУ в частности) в соответствии с целевым назначением. В случае выявления несоответствий, ограничений или потенциальных рисков разрабатываются конкретные и обоснованные рекомендации по их устранению, например при установлении ОЗ ООПТ: изменение видов разрешенного использования участков на более безопасный с экологической точки зрения; введение ограничений на определенные виды хозяйственной деятельности; разработка и утверждение уточненного проекта ОЗ; размещение информационных знаков; проведение экологической экспертизы; выкуп ЗУ (в крайних случаях) и т. д.

3 Результаты и обсуждение

В качестве объекта исследования выбрана такая проектируемая охранный зона ООПТ, как природный парк «Териберка», расположенный в Мурманской области. Ориентировочные границы ООПТ определены на основании комплексного экологического обследования территории [15]. Границы рассматриваемой ООПТ имеют сложную конфигурацию: территория разделена на три крупных кластера, разделенных обширной территорией, включающей в себя с. Териберка.

Рис. 2 ➤

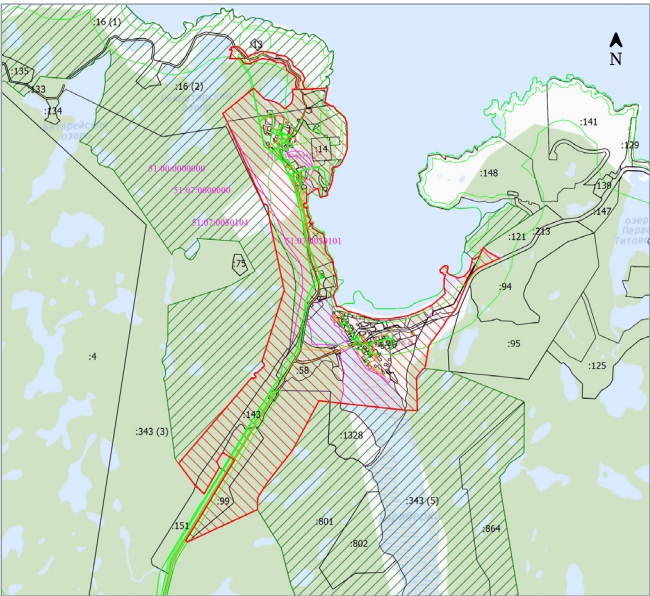
Проектируемая ОЗ ООПТ «Териберка» на КИПТ

Fig. 2

The projected protected zone of Teriberka Nature Park on the cadastral plan of the territory

Условные обозначения

- граница предполагаемой охранной зоны ООПТ «Териберка»
- граница земельного участка
- граница ООПТ «Териберка»
- граница здания, сооружения, объекта незавершенного строительства
- граница кадастрового квартала
- граница населенного пункта, муниципального образования
- граница зоны с особыми условиями использования территории
- :50 кадастровый номер объекта недвижимости
- /// территория предполагаемой охранной зоны ООПТ «Териберка»
- /// территория ООПТ «Териберка»
- 51.00.0000000 номер кадастрового квартала



Следует отметить, что природный парк, с. Териберка и прилегающие территории являются привлекательными для туризма, что подтверждается проведенными комплексными экологическими обследованиями [15].

В рамках подготовительного этапа выявлено, что в границы анализа попадают четыре кадастровых квартала: 51:00:0000000; 51:07:0000000; 51:07:0030104; 51:07:0030101 (рис. 2).

В ходе аналитических работ выявлено, что в проектируемую ОЗ попадают 256 ЗУ, 91 ОКС и 57 учтенных зон (ЗОУИТ, публичных сервитутов, территория объектов культурного наследия).

Корректное определение режимов использования территории и последующий расчет коэффициентов целесообразно начинать с анализа пространственного распределения объектов по категориям земель. Категории земель определяют основное целевое назначение территории и, как следствие, накладывают ограничения на ее использование. На рис. 3 продемонстрировано распределение земель в проектируемой ОЗ по их категориям, формирующее основу для дальнейшего анализа особенностей землепользования на территории исследования.

Рис. 3 ➤

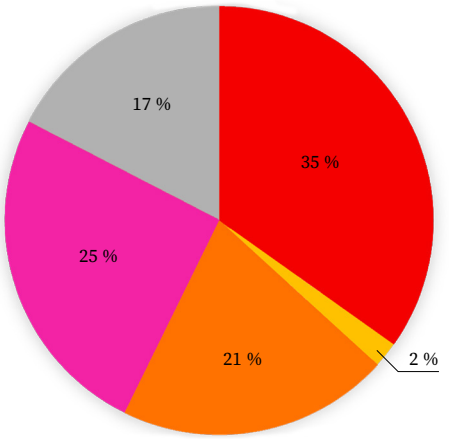
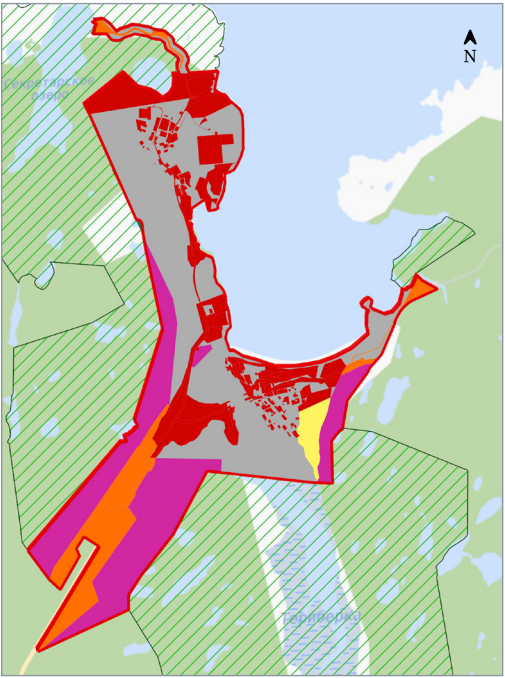
Распределение земель по категориям в проектируемой ОЗ ООПТ «Териберка»

Fig. 3

Distribution of lands by category in the projected of protected zone of the Teriberka Nature Park

Условные обозначения

- граница предполагаемой охранной зоны ООПТ «Териберка»
- /// территория ООПТ «Териберка»
- земли запаса
- земли населенных пунктов
- земли промышленности и иного специального назначения
- земли сельскохозяйственного назначения
- категория не установлена



В ходе работ рассчитаны показатели интенсивности использования территории: КИТ, плотность ЗУ и индекс разнообразия видов разрешенного использования ЗУ (табл. 2).

Таблица 2 ➤

Расчет значений показателей интенсивности использования территории

Table 2

Calculation of the values of indicators of the intensity of use of the territory

Показатель интенсивности использования территории	Расчет и результат
Коэффициент использования территории	$K_{ИТ} = \frac{\sum S_{окс}}{S_{ОЗ}} = \frac{45960}{8091592} = 0,006$
Плотность земельных участков, уч/кв. м	$\rho_{ЗУ} = \frac{N_{ЗУ}}{S_{ОЗ}} = \frac{256}{8091592} = 0,00003$
Индекс разнообразия видов разрешенного использования земельных участков	$ИРВИ = -\sum (p_i \ln(p_i)) = 3,148$ $ИРВИ = -\sum (p_i \ln(p_i)) = 2,435$

Рассчитанные для проектируемой ОЗ ООПТ значения коэффициента использования территории ($K_{ИТ} = 0,006$) и плотности существующих ЗУ ($\rho_{ЗУ} = 0,00003$ уч/кв. м) оказались низкими, что свидетельствует о высокой степени природоохранной направленности объекта. Данные значения подтверждают, что проект ОЗ соответствует целям сохранения ценных природных комплексов и ограничения хозяйственной деятельности, которая потенциально угрожает их устойчивости.

Расчеты индекса разнообразия видов разрешенного использования ЗУ проводились в несколько этапов. Изначально виды разрешенного использования всех ЗУ приведены в соответствие с действующим классификатором. Первоначальный индекс разнообразия, рассчитанный по 42 исходным видам разрешенного использования, составил 3,148, что указывает на высокую степень разнообразия использования территории в проектируемой ОЗ. Для повышения точности расчетов вторым этапом проведена работа по обобщению видов разрешенного использования ЗУ в соответствии с классификатором. Данное обобщение привело к снижению индекса на 3 % до 2,435, что закономерно отражает уменьшение количества категорий видов разрешенного использования ЗУ. Несмотря на обобщение, незначительное снижение индекса указывает на сохранение сложной структуры видов использования территории.

Полученное значение индекса разнообразия видов разрешенного использования ЗУ составляет 81 % от максимального возможного значения в проектируемой ОЗ, что отражает высокую антропогенную нагрузку, требующую планирования строгих ограничений в проектируемой ОЗ ООПТ, а в некоторых случаях — и изменения вида разрешенного использования ЗУ для восстановления природного баланса и обеспечения экологической устойчивости. Рассчитанные значения подтверждают вывод [15] о высокой антропогенной нагрузке на рассматриваемой территории, обусловленной в том числе и высокой туристической привлекательностью местности.

На основании расчетов, характеризующих проектируемую ОЗ ООПТ, можно сделать вывод, что низкие значения КИТ и индекса кадастровой нагрузки указывают на высокую степень природоохранной ориентации объекта. Вместе с тем, несмотря на низкую интенсивность освоения в целом, высокие значения индекса разнообразия видов разрешенного использования ЗУ свидетельствуют о высокой антропогенной нагрузке. Такая нагрузка проявляется не в плотности застройки, а в многообразии видов хозяйственной деятельности на территории проектируемой ОЗ. Следовательно, разнообразие видов деятельности даже при низкой интенсивности создает нагрузку на территории, требующую контроля для защиты и восстановления природной среды. В целом проектируемая ОЗ соответствует основным природоохранным задачам, однако высокая степень разнообразия видов разрешенного использования ЗУ требует особого внимания. Показатели КИТ, плотность ЗУ и индекс разнообразия видов разрешенного использования ЗУ дополняют друг друга, давая комплексную оценку использования территории, и их совокупная оценка критически важна для принятия решений при создании ОЗ ООПТ. Таким образом проект ОЗ имеет высокий потенциал для эффективной охраны ООПТ «Териберка», однако успех его реализации зависит от комплексного учета всех особенностей территории.

4 Выводы

Проведенное исследование позволило разработать и апробировать методику анализа территории, основываясь на использовании данных ЕГРН, в рамках установления ОЗ ООПТ. Преимуществом представленного подхода является его эффективность в обеспечении всесторонней оценки территории исследования. Методика позволяет не только точно определить границы ООПТ и проектируемые границы ОЗ, но и изучить существующее землепользование и потенциальное антропогенное воздействие на природные комплексы.

Результаты применения методики подтверждают ее ценность для практической деятельности. Так, данная методика обеспечивает повышение достоверности исходных данных для проектирования ОЗ ООПТ за счет использования систематизированной и достоверной информации из ЕГРН, включая КПТ. Это позволяет получить объективную картину распределения ЗУ и ОКС, а также ЗОУИТ, что существенно уменьшает риск появления ошибок при определении границ и режимов использования ОЗ ООПТ. Кроме того, методика помогает оценить антропогенную нагрузку на территорию исследования за счет расчета ключевых показателей — КИТ, плотности ЗУ и индекса разнообразия видов разрешенного использования ЗУ.

На основе полученных данных формируются обоснованные рекомендации как по оптимальной конфигурации и размерам ОЗ, так и по режимам ограниченной хозяйственной деятельности. Такие рекомендации учитывают специфику территории исследования и природоохранные задачи, обеспечивают возможность принятия взвешенных управленческих решений. Разработанный подход также оптимизирует процесс установления ОЗ, сокращая временные затраты и повышая эффективность работы специалистов за счет систематизации сбора и анализа информации. Совокупность разработанной методики и натурных экологических исследований обеспечит более надежную защиту уникальных природных систем. Таким образом, методика представляет собой практически значимый и необходимый инструмент в разработке ОЗ ООПТ.

Дальнейшие исследования планируется посвятить углубленному изучению взаимосвязи видов разрешенного использования ЗУ и антропогенного воздействия на природные системы. Планируется разработка подхода к построению границ ОЗ ООПТ, основанного на учете видов разрешенного использования ЗУ и прогнозировании антропогенной нагрузки. Результаты такой работы позволят определять проектные границы ОЗ ООПТ и обосновывать дифференцированные режимы ограничений, учитывающие специфику региона.

библиография

1. Колесников Г.Н. Правовые ограничения использования земельных участков в границах зон с особыми условиями использования территории // Аграрное и земельное право. 2024. № 1 (229). С. 96–98. DOI:10.47643/1815-1329_2024_1_96.
2. Субботинская В.А. Изменения в установлении ЗОУИТ // Экология производства. 2025. № 2 (247). С. 30–33.
3. Мамонтова С.А., Вахмянина А.С. Проблемы при установлении санитарно-защитных зон объектов на территории Красноярского края // Современные проблемы рационального природообустройства и водопользования: материалы II Международной научной конференции, Красноярск, 19 декабря 2023 г. Красноярск: КрасГАУ, 2024. С. 251–253.
4. Май И.В., Кошурников Д.Н., Бухаринов А.А. Актуальные проблемы установления седьмой подзоны приаэродромной территории // Анализ риска здоровью — 2024: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. Пермь, 15–16 мая 2024 г. Пермь: ПНИПУ, 2024. Т. 1. С. 39–44.
5. Васючкова О.А., Каряка А.М. Ограничения прав на землю в границах зон с особыми условиями использования территорий: вопросы практического и теоретического осмысления // Юрист. 2024. № 2. С. 62–66. DOI:10.18572/1812-3929-2024-2-62-66.

6. Бубнович Д.А., Зеленюк Ю.М. Градостроительные ограничения для развития территории микрорайона Иркутск-2 // Региональные проблемы. 2024. Т. 27, № 3. С. 80–82. DOI:10.31433/2618-9593-2024-27-3-80-82.
7. Румянцева Л.А. Задачи землеустройства с применением инновационных технологий // Вектор научной мысли. 2025. № 1 (18). С. 137–138.
8. Зарубин О.А., Байков Д.Ю., Москалева С.А. и др. Технология подготовки описания местоположения границ зон с особыми условиями использования территории для внесения сведений в Единый государственный реестр недвижимости // Международный научно-исследовательский журнал. 2025. № 2 (152). С. 1–16. DOI:10.60797/IRJ.2025.152.54.
9. Соколов Д.В. Дифференциация ограничений и запретов при установлении зон с особыми условиями использования территорий // Образование и право. 2024. № 2. С. 211–215. DOI:10.24412/2076-1503-2024-2-211-215.
10. Минакова А.А. Ограничение индивидуального жилищного строительства в связи с нахождением земельного участка в границах зоны с особыми условиями использования территорий // Юриспруденция в теории и на практике: актуальные вопросы и современные аспекты: сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 15 мая 2024 г. Пенза: Наука и Просвещение, 2024. С. 85–89.
11. Айтжанова Д.А., Баранова Е.И. Экологический анализ ЗОУИТ тепловых электростанций: текущее состояние и перспективы развития // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: сборник материалов XX Международного научного конгресса: в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2024. Т. 4, № 2. С. 164–172. DOI:10.33764/2618-981X-2024-4-2-164-172.
12. Айтжанова Д.А., Баранова Е.И. К вопросу о ЗОУИТ г. Новосибирска и их внесение в ЕГРН // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения: сборник материалов VII Национальной научно-практической конференции с международным участием: в 3 ч. Новосибирск: СГУГиТ, 2024. Ч. 1. С. 17–22. DOI:10.33764/2687-041X-2024-1-17-22.
13. Киселева Д.Е., Дьячкова И.С. Проектирование зон охраны объектов культурного наследия // Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся, Санкт-Петербург — Пушкин, 15–17 марта 2023 г. СПб.: СПбГАУ, 2023. С. 602–607.
14. Богданова Е.А., Ковязин В.Ф. Значение сведений об объектах недвижимости при установлении границ особо охраняемых природных территорий // Управление объектами недвижимости и комплексное развитие территорий: сборник статей III Международного научно-практического семинара, Санкт-Петербург, 5–6 декабря 2023 г. СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2024. С. 5–11.
15. Боровичев Е.А., Кожин М.Н., Шулина М.В. и др. О необходимости создания охранной зоны природного парка «Териберка» (Мурманская область) // Известия Русского географического общества. 2024. Т. 156, № 4. С. 237–255. DOI:10.31857/S0869607124040017.

авторы**Ковязин Василий Федорович**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»,
 Санкт-Петербург, Россия
 кафедра землеустройства и кадастров, строительный факультет
 д-р биол. наук, профессор
 0000-0002-3118-8515

Богданова Елизавета Алексеевна

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»,
 Санкт-Петербург, Россия
 кафедра землеустройства и кадастров, строительный факультет
 0009-0006-4430-7567

Волкова Яна Александровна

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ), Санкт-Петербург, Россия
кафедра геодезии, землеустройства и кадастров,
факультет инженерной экологии и городского хозяйства
канд. техн. наук

 0000-0001-6282-2366

Поступила 12.11.2025. Принята к публикации 24.03.2026. Опубликовано 02.04.2026



Methodology of Territory Analysis in the Establishment of Protected Zones of Specially Protected Natural Areas

Vasily F. Kovyazin¹, Elizaveta A. Bogdanova¹✉, Jana A. Volkova²

¹ St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, Russia

✉ elisaveta_b@mail.ru

citation Kovyazin VF, Bogdanova EA, Volkova JA. Methodology of Territory Analysis in the Establishment of Protected Zones of Specially Protected Natural Areas. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 105–117. DOI:10.30533/GiA-2026-017.

keywords protection zone, specially protected natural area, zone of special territorial use, cadastral plan of the territory, Unified State Register of Real Estate, boundary

abstract This article focuses on the development of an effective methodology for territorial analysis to justify the establishment of Protection Zones (PZs) for Specially Protected Natural Areas (SPNA), based on data from the Unified State Register of Real Estate (USRRE). The primary goal of the research was to create a comprehensive approach that allows for a thorough analysis of land use and the formation of scientifically-grounded recommendations for establishing SPNA PZs. The study outlines a sequence of stages, including the collection, systematization, and analysis of cadastral information from the USRRE (land plots, capital construction objects, and Zones of Special Territorial Use). The result is a developed methodology that ensures a comprehensive territorial analysis using cadastral information. This methodology enables the assessment of existing anthropogenic impact through key indicators of land use intensity (Territory Use Coefficient, plot density, diversity index of permitted land use types) and the formation of well-founded recommendations for establishing SPNA PZs. This approach optimizes the PZ establishment process, reducing time costs and enhancing specialists' work efficiency. The research findings contribute to the practice of establishing SPNA Protection Zones and promote more effective protection of natural resources.

references 1. Kolesnikov GN. Pravoye ogranicheniya ispol'zovaniya zemel'nykh uchastkov v granitsakh zon s osobymi usloviyami ispol'zovaniya territorii [Legal Restrictions

- on the Use of Land Plots within the Boundaries of Zones with Special Conditions Use of the Territory]. *Agrarian and Land Law*. 2024;1(229): 96–98. (In Russian). DOI:10.47643/1815-1329_2024_1_96.
2. Subbotinskaya VA. Izmeneniya v ustanovlenii ZOUIT [Changes in the Establishment of Use-Restricted Zones]. *Industrial Ecology*. 2025;2(247): 30–33. (In Russian).
 3. Mamontova SA, Vakhmyanina AS. Problemy pri ustanovlenii sanitarno-zashchitnykh zon ob'ektov na territorii Krasnoyarskogo kraya [Problem in Establishing of the Sanitary Protection Zones of the Objects on the Territory of the Krasnoyarsk Territory]. *Modern Problems of Rational Environmental Management and Water Use: Proceedings of the II Scientific International Conference, Krasnoyarsk, December 19, 2023*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk SAU; 2024: 251–253. (In Russian).
 4. May IV, Koshurnikov DN, Bukharinov AA. Aktual'nye problemy ustanovleniya sed'moy podzony pri aerodromnoy territorii [Actual Problems of Establishing the Seventh Subzone of the Airfield Territory]. *Health Risk Analysis – 2024: Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. In 2 vols. Vol. 1. Perm, May 15–16, 2024. Perm: Perm NRPU; 2024: 39–44. (In Russian).
 5. Vasyuchkova OA, Karyaka AM. Ogranicheniya prav na zemlyu v granitsakh zon s osobymi usloviyami ispol'zovaniya territorii: voprosy prakticheskogo i teoreticheskogo osmysleniya [Restrictions on Land Rights within the Boundaries of Zones with Special Conditions for the Use of Territories: Issues of Practical and Theoretical Understanding]. *Jurist*. 2024;2: 62–66. (In Russian). DOI:10.18572/1812-3929-2024-2-62-66.
 6. Bubnovich DA, Zelenyuk YM. Gradostroitel'nye ogranicheniya dlya razvitiya territorii mikrorayona Irkutsk-2 [Urban Planning Constraints in the Irkutsk-2 Microdistrict Development]. *Regional Problem*. 2024;27(3): 80–82. (In Russian). DOI:10.31433/2618-9593-2024-27-3-80-82.
 7. Rumyantseva LA. Zadachi zemleustroystva s primeneniem innovatsionnykh tekhnologii [Tasks of Land Management Using Innovative Technologies]. *Vektor Nauchnoy Mysli*. 2025;1(18): 137–138. (In Russian).
 8. Zarubin OA, Baykov DY, Moskaleva SA, et al. Tekhnologiya podgotovki opisaniya mestopolozheniya granits zon s osobymi usloviyami ispol'zovaniya territorii dlya vneseniya svedeniy v Edinyy gosudarstvennyy reestr nedvizhimosti [Technology for Preparing a Description of the Location of the Zone Boundaries with Special Conditions of Use of the Territory for Entering Data into the Unified State Register of Real Estate]. *International Research Journal*. 2025;2(152): 1–16. (In Russian). DOI:10.60797/IRJ.2025.152.54.
 9. Sokolov DV. Differentsiatsiya ogranichenii i zapretov pri ustanovlenii zon s osobymi usloviyami ispol'zovaniya territorii [Differentiation of Restrictions and Prohibitions when Establishing Zones with Special Conditions of Use of Territories]. *Education and Law*. 2024;2: 211–215. (In Russian). DOI:10.24412/2076-1503-2024-2-211-215.
 10. Minakova AA. Ogranichenie individual'nogo zhilishchnogo stroitel'stva v svyazi s nakhozhdeniem zemel'nogo uchastka v granitsakh zony s osobymi usloviyami ispol'zovaniya territorii [Restriction of Individual Housing Construction within the Limits of a Zone with Special Conditions for the Land Use]. *Jurisprudence in Theory and Practice: Current Issues and Modern Aspects: Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference, Penza, May 15, 2024*. Penza: Science and Education; 2024: 85–89. (In Russian).
 11. Aytzhanova DA, Baranova EI. Ekologicheskii analiz ZOUIT teplovykh elektrostantsii: tekushchee sostoyanie i perspektivy razvitiya [Environmental Analysis of ZOUIT Thermal Power Plants: Current Status and Development Prospects]. *Interexpo GEO-Siberia: Proceedings of the XX International Scientific Congress*. In 8 vols. Vol. 4. Part 2. Novosibirsk: SSUGT; 2024: 164–172. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2024-4-2-164-172.
 12. Aytzhanova DA, Baranova EI. K voprosu o ZOUIT g. Novosibirska i ikh vnesenie v EGRN [On the Issue of ZOUIT of Novosibirsk and Their Inclusion in the Unified State Register of Real Estate]. *Regulation of Land and Property Relations in Russia: Legal and Geospatial Support, Real Estate Valuation, Ecology, Technological Solutions: Proceedings of the VII National Scientific and Practical Conference with International Participation*. In 3 parts. Part 1. Novosibirsk: SSUGT; 2024: 17–22. (In Russian). DOI:10.33764/2687-041X-2024-1-17-22.

13. Kiseleva DE, D'yachkova IS. Proektirovanie zon okhrany ob'ektov kul'turnogo naslediya [Design of Cultural Heritage Protection Zones]. *Intellectual Potential of Young Scientists as a Driver of Agricultural Development: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students, St. Petersburg – Pushkin, March 15–17, 2023*. St. Petersburg: St. Petersburg SAU; 2023: 602–607. (In Russian).
14. Bogdanova EA, Kovyazin VF. Znachenie svedeniy ob ob'ektakh nedvizhimosti pri ustanovlenii granits osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy [The Importance of Information about Real Estate Objects in Establishing the Boundaries of Specially Protected Natural Areas]. *Real Estate Management and Integrated Territorial Development: Proceedings of the III International Scientific and Practical Seminar, St. Petersburg, December 5–6, 2023*. St. Petersburg: Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University; 2024: 5–11. (In Russian).
15. Borovichev EA, Kozhin MN, Shulina MV, et al. O neobkhodimosti sozdaniya okhrannoi zony prirodnogo parka “Teriberka” (Murmanskaya oblast') [Justification for the Creation of a Protected Zone of the Nature Park “Teriberka” (Murmansk Region)]. *Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2024;156(4): 237–255. (In Russian). DOI:10.31857/S0869607124040017.

authors **Vasily F. Kovyazin**

Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russia
Department of Land Management and Cadastre, Faculty of Civil Engineering
Dr. of Sci. (Biology), Professor

 0000-0002-3118-8515

Elizaveta A. Bogdanova

Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russia
Department of Land Management and Cadastre, Faculty of Civil Engineering

 0009-0006-4430-7567

Jana A. Volkova

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, Russia
Department of Geodesy, Land Management and Cadastre,
Faculty of Environmental Engineering and Urban Management
PhD in Engineering

 0000-0001-6282-2366

Submitted: November 12, 2025. Accepted: March 24, 2026. Published: April 02, 2026.



Разработка структуры и классификации дежурных планов (карт) градостроительной информации

А.М. Тарарин¹, А.А. Проскурина¹✉

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Россия

✉ kiseleva@miigaik.ru

цитирование

Тарарин А.М., Проскурина А.А. Разработка структуры и классификации дежурных планов (карт) градостроительной информации // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 118–130. DOI:10.30533/GiA-2026-018.

ключевые слова

информационное обеспечение градостроительной деятельности, дежурный инженерно-топографический план, план наземных и подземных коммуникаций, адресный план, пространственные данные, информационная модель территории

аннотация

В статье исследуется проблема использования дежурных планов (карт) в информационном обеспечении градостроительной деятельности. Авторы прослеживают эволюцию этого инструмента от практик середины XX века до современной цифровой реализации с применением геоинформационных систем. Особое внимание уделяется правовому статусу дежурных планов: несмотря на их активное применение, в том числе в муниципальных системах и региональных государственных информационных системах обеспечения градостроительной деятельности (ГИСОГД), нормативно они закреплены лишь для раздела «План наземных и подземных коммуникаций». Проводится параллель с дежурными кадастровыми картами, которые успешно интегрированы в Единый государственный реестр недвижимости и имеют четкую правовую основу. В работе раскрывается связь дежурных планов (карт) с пространственными данными градостроительной деятельности, обосновывается целесообразность выделения таких данных из градостроительной документации в виде наборов пространственных данных градостроительной деятельности, а также ведение цифровых картографических моделей. Дежурные планы (карты) фактически уже введены уполномоченными органами, но отсутствие нормативной базы создает проблемы (например, при предоставлении актуализированных сведений ГИСОГД заинтересованным лицам). Результаты исследования открывают перспективы для разработки единой методики ведения дежурных планов и совершенствования информационного обеспечения градостроительной отрасли.

1 Введение

Понятие дежурных планов в информационном обеспечении градостроительной деятельности было введено в 2008 году¹. Они были отнесены к вторичным документам и материалам, которые создаются на основе манипуляций с первичными документами. Предполагалось, что дежурные планы могли бы вестись как в статусе рабочих материалов, так и в качестве утвержденных уполномоченными органами документов. Однако на законодательном уровне ведение в составе информационных систем обеспечения градостроительной деятельности (ИСОГД) вторичных документов, в том числе дежурных планов, так и не было закреплено. Тем не менее практика ведения дежурных планов в градостроительной деятельности начала формироваться еще в середине XX века: тогда геолого-геодезическими службами, созданными при органах архитектуры и градостроительства, была начата системная работа по созданию и ведению дежурных топографических планов в составе архивов инженерных изысканий [1]. Эта практика существовала во многих городах также при ведении государственного градостроительного кадастра и ИСОГД. С внедрением в производство инженерных изысканий цифровых технологий дежурные топографические планы стали вестись на основе цифровых моделей местности [1–4]. Практика ведения дежурных планов была расширена на другие виды градостроительной информации. Например, в Нижнем Новгороде, согласно постановлению администрации², на основе сведений ИСОГД велся не только дежурный топографический план масштаба 1 : 500, но и дежурные планы:

- красных линий;
- зон планировочных ограничений;
- объектов нового строительства и образуемых земельных участков;
- существующих инженерных коммуникаций;
- проектируемых инженерных коммуникаций;
- адресный и др.

Аналогом дежурных планов градостроительной информации в федеральном законодательстве России можно назвать дежурные кадастровые карты, ведение которых началось в 1990-х годах при формировании государственного земельного кадастра [5, 6]. Дежурные кадастровые карты традиционно обеспечивают учетную функцию кадастра. В настоящее время федеральным законом «О государственной регистрации недвижимости»³ ведение дежурных кадастровых карт предусмотрено в составе Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН). Интересен также опыт ведения реестра границ ЕГРН. Так, в соответствии с приказом Росреестра «Об установлении порядка ведения Единого государственного реестра недвижимости»⁴, записям, сведениям реестра границ присваиваются статусы «актуальный» и «архивный» (при принятии решения об исключении сведений об объектах реестра границ). Таким образом, в составе ЕГРН ведется слой территориальных зон, границ населенных пунктов и т. д. в режиме дежурных карт.

-
- 1 Трутнев Э.К., Бандорин Л.Е., Гудзь Т.В. и др. Градорегулирование: Основы регулирования градостроительной деятельности в условиях становления рынка недвижимости: учеб. пособие. М.: Фонд «Институт экономики города», 2008. 296 с.
 - 2 Об утверждении Положения о ведении дежурных планов градостроительной информации территории города Нижнего Новгорода: постановление администрации города Нижнего Новгорода от 31 мая 2017 г. № 2484. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://grad-nn.ru/wp-content/uploads/2017/06/o_dezplane.pdf (дата обращения: 09.12.2025).
 - 3 О государственной регистрации недвижимости: Федеральный закон от 13 июля 2015 г. № 218-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102376335> (дата обращения: 09.12.2025).
 - 4 Об установлении порядка ведения Единого государственного реестра недвижимости: приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 7 декабря 2023 г. № П/0514. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402010041> (дата обращения: 09.12.2025).

Большинство городов при ведении муниципальных ИСОГД успешно применяли геоинформационные технологии для управления развитием территорий [7–11]. Аналогичная практика существует и за рубежом [12–14]. При переходе от муниципальных ИСОГД к государственным информационным системам обеспечения градостроительной деятельности субъектов Российской Федерации (ГИСОГД) было закреплено их ведение в электронной форме. Региональные ГИСОГД также могут обеспечивать подготовку, согласование, утверждение документов, предусмотренных Градостроительным кодексом. Ведение дежурных планов в региональных ГИСОГД не было предусмотрено, за исключением раздела «План наземных и подземных коммуникаций», который, по сути, представляет собой дежурный план. Выделение пространственных данных градостроительной деятельности [15] из градостроительной документации в составе региональных ГИСОГД федеральным законодательством также не устанавливается, хотя некоторые из них (например, границы территориальных зон и населенных пунктов) отдельно вносятся в реестр границ ЕГРН. В региональных ГИСОГД приказом Минстроя России от 6 августа 2020 г. № 433/пр⁵ определяются элементы пространственной привязки в рамках ведения реестра территории действия в системе координат, установленной для ЕГРН. При ведении реестра тематических наборов данных предусмотрена актуализация информации путем установления связи между записью реестра и ранее созданной записью, содержащей предыдущую версию размещаемых данных.

Таким образом, разработка структуры и классификации дежурных планов (карт) градостроительной информации с учетом особенностей пространственных данных градостроительной деятельности является актуальной научно-практической задачей, в том числе в контексте развития информационного обеспечения градостроительной деятельности в части технологического перехода от учета разрозненных документов к ведению информационной модели территории [4, 16, 17].

2 Материалы и методы

Важной особенностью градостроительной деятельности является ее привязка к документам, являющимся нормативными правовыми актами, таким как генеральный план, проект планировки территории и др., в отличие, например, от кадастровой деятельности, где центральными объектами выступают пространственные данные: земельный участок, здание и др.

ГОСТ Р 70846.8-2023 впервые ввел понятие «пространственные данные градостроительной деятельности»⁶. При осуществлении градостроительной деятельности в виде территориального планирования и градостроительного зонирования создаются абстрактные объекты: функциональные зоны, территориальные зоны, которые нельзя увидеть на местности. При выполнении инженерно-геодезических изысканий на инженерно-топографических планах отображаются объекты местности — объекты реального мира.

5 Об утверждении технических требований к ведению реестров государственных информационных систем обеспечения градостроительной деятельности, методики присвоения регистрационных номеров сведениям, документам, материалам, размещаемым в государственных информационных системах обеспечения градостроительной деятельности, справочников и классификаторов, необходимых для обработки указанных сведений, документов, материалов, форматов предоставления сведений, документов, материалов, содержащихся в государственных информационных системах обеспечения градостроительной деятельности: приказ Минстроя России от 6 августа 2020 г. № 433/пр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/231830/> (дата обращения: 09.12.2025).

6 ГОСТ Р 70846.8-2023. Национальная система пространственных данных. Пространственные данные градостроительной деятельности. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 10 с.

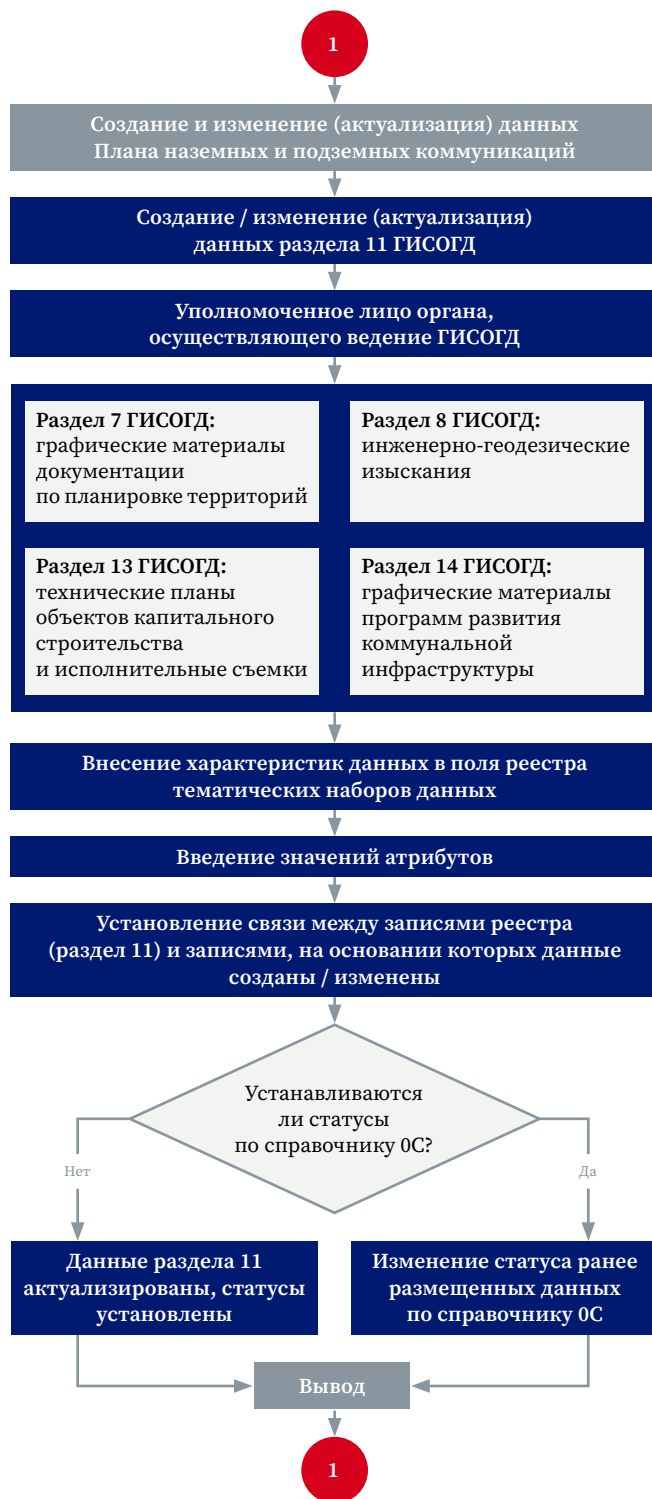


Рис. 1 ↑
Создание и изменение (актуализация) данных раздела 11 ГИСОГД «План наземных и подземных коммуникаций»

Fig. 1
Creation and modification (updating) of data of the GISOGD section 11 “Plan of surface and underground communications”

СП 317.1325800.2017 устанавливает, что инженерно-топографические планы представляются в форме цифровой модели местности, т. е. в цифровом векторно-топологическом виде для автоматизированного решения инженерных задач, включая цифровую модель рельефа и цифровую модель ситуации⁷.

В градостроительной практике используется как понятие «карта», так и понятие «план», например: *дежурный топографический план, план наземных и подземных коммуникаций, карта функционального зонирования, карта градостроительного зонирования*. Дежурные планы (карты) ведутся, как правило, в местных системах координат ведения ЕГРН, устанавливаемых для каждого кадастрового округа (субъекта Российской Федерации). Ранее дежурные планы велись в местных системах координат городов в ортогональной проекции. Дежурные карты в данном случае классифицируются как тематические.

В сфере геодезии и картографии ГОСТ Р 71887-2024 закрепил понятие цифровой дежурной топографической карты⁸ (ЦДТК), ведение которой осуществляется в рамках топографического мониторинга. В ЦДТК фиксируются изменения местности с целью обновления исходных данных для единой электронной картографической основы, которая используется в том числе при создании отраслевых пространственных данных градостроительной деятельности [18, 19].

В градостроительном законодательстве в настоящее время установлен порядок ведения и состав планов наземных и подземных коммуникаций (п. 18, 19 Правил ведения государственных информационных систем обеспечения градостроительной деятельности⁹, приказ Минстроя России от 6 августа 2020 г. № 433/пр). Уполномоченные органы при размещении в ГИСОГД сведений, документов, материалов с информацией о местоположении существующих и проектируемых сетей коммунальной инфраструктуры обеспечивают актуализацию, обработку и систематизацию такой информации путем ее внесения в форме векторных пространственных данных в планы наземных и подземных коммуникаций, содержащие, в свою очередь, ссылки на источники данных. Блок-схема создания и изменения (актуализации) данных раздела 11 «План наземных и подземных коммуникаций» приведена на рис. 1.

Раздел «План наземных и подземных коммуникаций» ведется по данным из разделов 7, 8, 13 и 14 региональной ГИСОГД. Для отображения существующих

7 СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/16291/> (дата обращения: 09.12.2025).

8 ГОСТ Р 71887-2024. Геодезия и картография. Топографический мониторинг при обновлении цифровых (электронных) топографических карт и актуализации пространственных данных. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2025. 22 с.

9 Об информационном обеспечении градостроительной деятельности: постановление Правительства Российской Федерации от 13 марта 2020 г. № 279. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202003170019> (дата обращения: 09.12.2025).

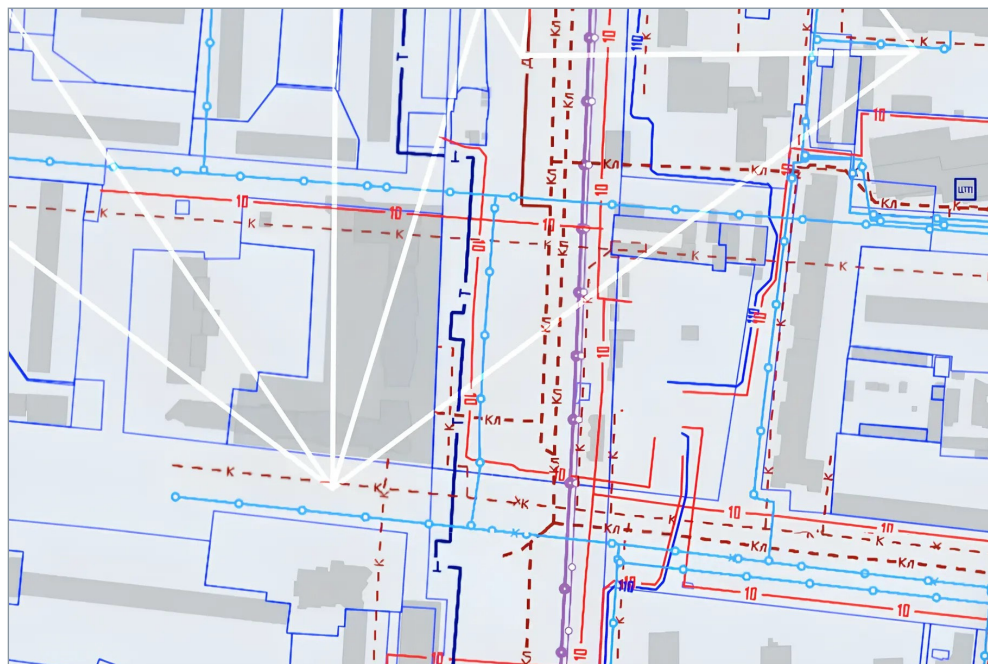
наземных и подземных коммуникаций используются результаты инженерно-геодезических изысканий, технические планы объектов капитального строительства и схемы, отображающие расположение построенного, реконструированного объекта капитального строительства, а также сетей инженерно-технического обеспечения в границах земельного участка (исполнительные съемки). Для отображения проектируемых наземных и подземных коммуникаций используются графические материалы документации по планировке территории и программ комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры. На рис. 2 представлена иллюстрация дежурного плана раздела региональной ГИСОГД «План наземных и подземных коммуникаций», реализованного на платформе Geometa¹⁰.

Рис. 2 ➤

Иллюстрация дежурного плана раздела 11 ГИСОГД «План наземных и подземных коммуникаций»

Fig. 2

Illustration of the duty plan of the GISOGD section 11 “Plan of surface and underground communications”



3 Результаты и обсуждение

На основе выделения пространственных данных в составе документов, размещаемых в разделах ГИСОГД, предложена структура дежурных планов (карт), которая представлена в табл. 1.

Таким образом, актуализацию графических документов в региональных ГИСОГД предлагается осуществлять в процессе ведения дежурных планов (карт) градостроительной информации. Исходя из содержания терминов, которые фиксируют ГОСТ Р 70955-2023¹¹ и ГОСТ Р 70846.9-2023¹², можно дать следующее определение дежурным планам (картам) градостроительной информации: это тематические планы (карты), представленные в виде цифровой картографической модели, содержащей наборы пространственных данных градостроительной деятельности. В рамках одного раздела региональных ГИСОГД могут вестись несколько дежурных планов (карт) в зависимости от специфики градостроительной информации. Дежурные планы (карты), содержащие отраслевые

¹⁰ Geometa. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geometa.ru> (дата обращения: 23.10.2025).

¹¹ ГОСТ Р 70955-2023. Картография цифровая. Термины и определения. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 11 с.

¹² ГОСТ Р 70846.9-2023. Национальная система пространственных данных. Пространственные данные градостроительной деятельности. Термины и определения. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 8 с.

Таблица 1 ▼

Структура дежурных планов
в разрезе разделов ГИСОГД

Table 1

The structure of duty plans
in the context of GISOGD sections

пространственные данные, которые учитываются в других государственных земельно-информационных системах, предлагается вести с использованием межсистемного информационного взаимодействия, например в части особо охраняемых природных территорий — с государственным кадастром особо охраняемых природных территорий (федеральная государственная информационная система [ФГИС] «Экомониторинг»), в части границ лесничеств — с государственным лесным реестром (ФГИС лесного комплекса).

Раздел ГИСОГД	Пространственные данные градостроительной деятельности	Дежурный план (дежурная карта)	Государственная информационная система
Документы территориального планирования РФ	Объекты федерального значения	Дежурный план объектов федерального значения	—
Документы территориального планирования субъектов РФ	Объекты регионального значения	Дежурный план объектов регионального значения	—
Документы территориального планирования муниципальных образований	Границы населенных пунктов	Дежурный план функционального зонирования	—
	Объекты местного значения	Дежурный план объектов местного значения	—
	Границы функциональных зон	Дежурный план границ населенных пунктов	—
Правила благоустройства территории	Объекты благоустройства	Дежурный план благоустройства	—
Градостроительное зонирование	Границы территориальных зон с градостроительными регламентами	Дежурная карта градостроительного зонирования	—
Планировка территории (проекты планировки территории, проекты межевания территории)	Границы проектов планировки и межевания территории	Дежурный план границ зон планируемого размещения объектов капитального строительства	—
	Красные линии	Дежурный план красных линий	—
	Границы зон планируемого размещения объектов капитального строительства в соответствии с проектом планировки территории	Дежурный план границ образуемых и (или) изменяемых земельных участков	—
	Границы образуемых и изменяемых земельных участков в соответствии с проектом межевания территории		
Инженерные изыскания	Объекты местности в составе материалов инженерно-геодезических изысканий	Дежурный инженерно-топографический план масштаба 1 : 500	—
Искусственные земельные участки	Местоположение искусственного земельного участка (разрешение на создание искусственного земельного участка)	Дежурный план границ искусственных земельных участков	—
Зоны с особыми условиями использования территории	Границы зоны с особыми условиями использования территории с ограничениями по использованию земельных участков	—	ЕГРН (ФГИС ЕГРН)
План наземных и подземных коммуникаций	Местоположение существующих и проектируемых сетей и объектов инженерно-технического обеспечения (тепло-, водо-, газоснабжения), электрических сетей, сетей связи	Дежурный план наземных и подземных коммуникаций	—
Резервирование земель и изъятие земельных участков	Схемы резервируемых земель	Дежурный план резервирования земель и изъятия земельных участков	—

Раздел ГИСОГД	Пространственные данные градостроительной деятельности	Дежурный план (дежурная карта)	Государственная информационная система
Дела о застроенных или подлежащих застройке земельных участках	Границы зон планируемого размещения объектов капитального строительства в соответствии с градостроительными планами земельных участков Земельные участки, проектные контуры зданий и сооружений, для которых выданы разрешения на строительство Схемы, отображающие расположение построенного, реконструированного объекта капитального строительства и планировочную организацию земельного участка Разрешения на ввод в эксплуатацию, технический план объекта капитального строительства	Дежурный план объектов нового строительства и образуемых земельных участков	—
Комплексное развитие территорий	Границы территорий, подлежащие комплексному развитию	Дежурный план территорий, подлежащих комплексному развитию	—
Особо охраняемые природные территории	Границы особо охраняемых природных территорий федерального, регионального и местного значения	—	Государственный кадастр особо охраняемых природных территорий (ФГИС «Экомониторинг»)
Лесохозяйственные регламенты	Границы лесничеств и лесопарков с лесохозяйственными регламентами	—	Государственный лесной реестр (ФГИС лесного комплекса)
Дополнительный раздел	Объекты адресации	Дежурный адресный план (карта)	—

Технология ведения дежурных планов (карт) градостроительной информации должна реализовывать принцип «машины времени», т. е. обеспечивать отображение дежурного плана (карты) на требуемую дату.

Дежурные планы (карты) градостроительной информации могут формироваться:

- 1) на территорию муниципального образования по отдельному объекту (дежурный топографический план, дежурный план наземных и подземных коммуникаций, адресный план, дежурный план границ зон планируемого размещения объектов капитального строительства, дежурный план границ искусственных земельных участков, дежурный план резервирования земель и изъятия земельных участков);
- 2) на всю территорию муниципального образования в целом (дежурный план функционального зонирования, дежурный план границ населенных пунктов, дежурный план градостроительного зонирования, дежурные планы объектов федерального, регионального, местного значения);
- 3) на часть территории муниципального образования, как правило, на планировочную единицу, например микрорайон (но на практике возможны пересечения) (дежурный план красных линий, дежурный план границ, образуемых и / или изменяемых земельных участков);
- 4) на отдельные территории, не привязанные к границам муниципальных образований, которые не могут пересекаться (например, для границ лесничеств, особо охраняемых природных территорий);
- 5) в виде буферных зон относительно отдельных объектов местности, не привязанных к границам муниципальных образований (при этом буферные зоны могут пересекаться) (для зон с особыми условиями использования территорий).

По виду пространственных данных дежурные планы (карты) градостроительной информации делятся:

- на дежурные планы (карты) градостроительной деятельности, формируемые на основе пространственных данных градостроительной деятельности (границы населенных пунктов, территориальные зоны);

- отраслевые дежурные планы (карты), составляемые на основе отраслевых пространственных данных, необходимых для осуществления градостроительной деятельности (лесничества, особо охраняемые природные территории и т. д.).

От вида пространственных данных зависит подход к возможности утверждения дежурных планов (карт) градостроительной информации уполномоченным органом архитектуры и градостроительства в качестве рабочего документа ГИСОГД.

В зависимости от точностных характеристик пространственных данных градостроительной деятельности дежурные планы (карты) градостроительной информации делятся:

- на имеющие точностные характеристики или масштаб (границы земельных участков);
- не имеющие точностных характеристик, но имеющие привязку к масштабу (функциональные зоны);
- смешанные (территориальные зоны, границы населенных пунктов);
- не имеющие точностных характеристик и привязки к масштабу.

Дежурные планы (карты) градостроительной информации также можно разделить на отражающие:

- объекты реального мира (дежурный инженерно-топографический план, включающий объекты местности);
- абстрактные объекты (дежурная карта градостроительного зонирования, состоящая из территориальных зон).

Классификация дежурных планов (карт) градостроительной информации должна учитываться при выборе подхода к их использованию для пространственного анализа.

4 Выводы

Пространственные данные в составе ГИСОГД фактически ведутся по технологии дежурных планов (карт), статус которых в настоящее время не определен. Фактически ведение дежурных планов (карт) уже осуществляется уполномоченными органами в рамках ведения региональных ГИСОГД, но нормативно это закреплено только для раздела «План наземных и подземных коммуникаций». Сложившаяся ситуация создает проблемы при предоставлении заинтересованным лицам актуализированных сведений из других разделов региональных ГИСОГД, например актуальной карты градостроительного зонирования муниципального образования, в случаях, когда в правила землепользования и застройки вносились многочисленные изменения в части координатного описания границ территориальных зон [11].

Для пространственного анализа с использованием сведений ГИСОГД важно рассматривать пространственные данные не в составе градостроительной документации, а в виде дежурных планов (карт) градостроительной информации (цифровой картографической модели) и учитывать их точность.

Само понятие «дежурство» в градостроительной деятельности — это не просто обновление планов (карт) градостроительной информации, а система учета изменений пространственных данных градостроительной деятельности, их фиксация и интеграция в виде цифровой картографической модели, обеспечивающая их достоверность и актуальность для всех заинтересованных лиц.

Результаты данного исследования будут служить основой для дальнейших изысканий и разработки методики ведения дежурных планов (карт) градостроительной информации.

библиография

1. Жуховицкий Г.М., Карпов А.А. Повышение эффективности градостроительной деятельности в результате развития системы ведения дежурных планов застроенных территорий // Вестник МГСУ. 2016. № 2. С. 186–193.

2. Карпов А.А., Назаров А.С. Топографический мониторинг застроенной территории средствами программного комплекса CREDO // Управление развитием территории. 2012. № 1. С. 58–63.
3. Силакова Л.В. Технология ведения цифрового топографического плана города Нижнего Новгорода // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2011. № 4 (43). С. 65–68.
4. Гура Д.А., Тотмакова В.В. Повышение эффективности градостроительной и кадастровой деятельности путем внедрения электронного дежурного плана инженерно-геодезических изысканий, наземных и подземных коммуникаций // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2025. № 1. С. 42–45.
5. Меринова Ю.Г. Концептуальные основы дежурной кадастровой карты // ГЕО-Сибирь: сборник материалов Международного научного конгресса: в 6 т. Новосибирск: СГГА, 2006. Т. 2, ч. 2. С. 56–59.
6. Сапельников С.А., Тарарин А.М., Андреев А.В. Кадастровые карты муниципальных образований: баланс возможностей и потребностей // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. 2010. № 4. С. 17–20.
7. Алексеенко Н.А., Липски С.А. Цифровая трансформация в градостроительстве: вызовы и решения в сфере информационного обеспечения // Экономика строительства. 2024. № 9. С. 83–86.
8. Галкина Е.В. Возможности повышения эффективности градостроительной деятельности путем внедрения информационных технологий // Экономика и предпринимательство. 2017. № 5-2 (82). С. 1046–1051.
9. Береговских А.Н. Информационно-аналитическая система управления развитием территорий (ИАС УГРТ). Исследование. Концепция. Омск: Ассоциация компаний ГРАД, 2011. 178 с.
10. Картавцева Е.Н., Берилова Д.А. Ведение дежурного плана масштаба 1 : 500 МО «Город Томск» с использованием ГИС-технологий // Избранные доклады 70-й юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск: ТГАСУ, 2024. С. 1046–1048.
11. Гура Д.А. Градостроительное зонирование в задаче информационного обеспечения кадастровых работ на землях населенных пунктов // Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 5. С. 137–147. DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-5-137-147.
12. Ломакина Д.Ю. Информационное обеспечение градостроительства во Франции // Architecture and Modern Information Technologies. 2010. № 3 (12). С. 1–8.
13. Kochanek A., Kobylarczyk S. The Analysis of the Main Geospatial Factors Using Geoinformation Programs Required for the Planning, Design and Construction of a Photovoltaic Power Plant // Journal of Ecological Engineering. 2024. Vol. 25. Iss. 4. P. 49–65. DOI:10.12911/22998993/183628.
14. Minagawa N. Deciphering the Structure and History of a City Based on Topography: A Case of Edo and Tokyo // Transactions, Japanese Geomorphological Union. 2023. Vol. 43. Iss. 4. P. 141–156. DOI:10.60380/tjgu.43.4_141.
15. Карпик А.П. Анализ состояния и проблемы геоинформационного обеспечения территорий // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2014. № S4. С. 3–7.
16. Береговских А.Н. Новые подходы к планированию развития городов: от разрозненных документов к цифровой информационной модели // Город и его окружение: современные вызовы и перспективные пути развития: сборник статей Международной конференции, Москва, 25–27 апреля 2024 г. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2024. С. 69–77.
17. Куприяновский В.П., Синягов С.А., Намиот Д.Е. и др. Экономические выгоды применения комбинированных моделей BIM-ГИС в строительной отрасли. Обзор состояния в мире // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4, № 5. С. 14–25.
18. Тарарин А.М., Тарарина Е.Г., Сазонова А.В. и др. Использование единой электронной картографической основы в градостроительной деятельности // Геодезия и картография. 2025. Т. 86, № 6. С. 34–42. DOI:10.22389/0016-7126-2025-1020-6-34-42.
19. 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.

авторы **Тарарин Андрей Михайлович**

✉ a_tararin@edu.miigaik.ru

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра управления недвижимостью и развитием территорий,

факультет управления территориями

канд. техн. наук

🆔 0000-0003-2460-4434

Проскурина Алина Андреевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра управления недвижимостью и развитием территорий,

факультет управления территориями

🆔 0009-0007-0807-7722

Поступила 11.12.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Development of the Structure and Classification of Emergency Plans (Maps) of Urban Planning Information

Andrei M. Tararin¹, Alina A. Proskurina¹✉

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ kiseleva@miigaik.ru

citation Tararin AM, Proskurina AA. Development of the Structure and Classification of Emergency Plans (Maps) of Urban Planning Information. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 118–130. DOI:10.30533/GiA-2026-018.

keywords information support for urban development activities, duty engineering and topographic plan, plan of surface and underground communications, address plan, spatial data, information model of the territory

abstract This article examines the use of routine plans (maps) in urban planning information support. The authors trace the evolution of this tool from mid-20th-century practices to its modern digital implementation using geographic information systems. Particular attention is paid to the legal status of routine plans: despite their widespread use, including in municipal systems and regional state information systems for urban planning (GISOGD), they are legally defined only for the “Plan of Surface and Underground Utilities” section. A parallel is drawn with routine cadastral maps, which have been successfully integrated into the Unified State Register of Real Estate and have a clear legal basis. The paper explores the relationship between routine plans (maps) and spatial urban planning data, substantiating the feasibility of extracting such data from urban planning documentation as spatial urban planning datasets, and the maintenance of digital cartographic models. While duty plans (maps) have already been introduced by authorized bodies, the lack of a regulatory framework creates challenges (for example, in providing updated GISOGD information to stakeholders). The study’s results open up prospects for developing a unified methodology for maintaining duty plans and improving information support for the urban development industry.

- references**
1. Zhukhovitsky GM, Karpov AA. Povyshenie effektivnosti gradostroitel'noi deyatel'nosti v rezul'tate razvitiya sistemy vedeniya dezhurnykh planov zastroyennykh territorii [Improving the Efficiency of Urban Planning Activity as a Result of Implementing Working Plans of Build-Up Areas]. *Vestnik MGSU*. 2016;2: 186–193. (In Russian).
 2. Karpov AA, Nazarov AS. Topograficheskii monitoring zastroyennoi territorii sredstvami programmnoy kompleksa CREDO [Topographic Monitoring of Built-Up Areas Using the CREDO Software Package]. *Territory Development Management*. 2012;1: 58–63. (In Russian).

3. Silyakova LV. Tekhnologiya vedeniya tsifrovogo topograficheskogo plana goroda Nizhnego Novgoroda [Technology of Maintaining a Digital Topographic Plan of the City of Nizhny Novgorod]. *Automated Technologies of Surveys and Design*. 2011;4(43): 65–68. (In Russian).
4. Gura DA, Totmakova VV. Povyshenie effektivnosti gradostroitel'noi i kadaastrovoi deyatel'nosti putem vnedreniya elektronnoho dezhurnogo plana inzhenerno-geodezicheskikh izyskaniy, nazemnykh i podzemnykh kommunikatsii [Improving the Efficiency of Urban Planning and Cadastral Activities by Implementing an Electronic Emergency Plan for Engineering and Geodetic Surveys, Surface and Underground Communications]. *Science. Engineering. Technology (Polytechnical Bulletin)*. 2025;1: 42–45. (In Russian).
5. Merinova YuG. Kontseptual'nye osnovy dezhurnoi kadaastrovoi karty [Conceptual Foundations of the Duty Cadastral Maps]. *GEO-Siberia: Proceedings of the International Scientific Congress*. In 6 vols. Vol. 2. Part 2. Novosibirsk: SSGA; 2006: 56–59. (In Russian).
6. Sapelnikov SA, Tararin AM, Andreev AV. Kadastrye karty munitsipal'nykh obrazovaniy: balans vozmozhnostei i potrebnosti [Cadastral Maps of Municipalities: A Balance of Opportunities and Needs]. *GIS-Association Newsletter*. 2010;4: 17–20. (In Russian).
7. Alekseenko NA, Lipski SA. Tsifrovaya transformatsiya v gradostroitel'stve: vyzovy i resheniya v sfere informatsionnogo obespecheniya [Digital Transformation in Urban Planning: Challenges and Solutions in the Field of Information Support]. *Construction Economics*. 2024;9: 83–88. (In Russian).
8. Galkina EV. Vozmozhnosti povysheniya effektivnosti gradostroitel'noi deyatel'nosti putem vnedreniya informatsionnykh tekhnologii [Opportunities to Increase the Efficiency of Urban Planning Activities by Introducing Information Technologies]. *Construction Economics*. 2017;5-2(82): 1046–1051. (In Russian).
9. Beregovskikh AN. *Informatsionno-analiticheskaya sistema upravleniya razvitiem territorii (IAS UGRT). Issledovanie. Kontseptsiya* [Information and Analytical System for Managing Territorial Development (IAS UGRT). Research. Concept]. Omsk: Association of Companies GRAD; 2011. 178 p. (In Russian).
10. Kartavtseva EN, Berilova DA. Vedenie dezhurnogo plana masshtaba 1 : 500 MO “Gorod Tomsk” s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii [Maintenance of the 1 : 500 Scale Emergency Plan of the Tomsk City Using GIS-Technologies]. *Selected Reports of the 70th Anniversary University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists*. Tomsk: TSUACE; 2024: 1046–1048. (In Russian).
11. Gura DA. Gradostroitel'noe zonirovanie v zadache informatsionnogo obespecheniya kadastrykh rabot na zemlyakh naselennykh punktov [Urban Planning Zoning in the Task of Information Support for Cadastral Work on Settlements]. *Vestnik SSUGT*. 2024;29(5): 137–147. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-5-137-147.
12. Lomakina DYU. Informatsionnoe obespechenie gradostroitel'stva vo Frantsii [Information Support of Urban Planning in France]. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2010;3(12): 1–8. (In Russian).
13. Kochanek A, Kobylarczyk S. The Analysis of the Main Geospatial Factors Using Geoinformation Programs Required for the Planning, Design and Construction of a Photovoltaic Power Plant. *Journal of Ecological Engineering*. 2024;25(4): 49–65. DOI:10.12911/22998993/183628.
14. Minagawa N. Deciphering the Structure and History of a City Based on Topography: A Case of Edo and Tokyo. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*. 2023;43(4): 141–156. DOI:10.60380/tjgu.43.4_141.
15. Karpik AP. Analiz sostoyaniya i problemy geoinformatsionnogo obespecheniya territorii [Analysis of the State and Problems of Geoinformation Support of Territories]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2014;S4: 3–7. (In Russian).
16. Beregovskikh AN. Novye podkhody k planirovaniyu razvitiya gorodov: ot razroznennykh dokumentov k tsifrovoy informatsionnoi modeli [New Approaches to Urban Development Planning: From Scattered Documents to a Digital Information Model]. *City and Its Surroundings: Modern Challenges and Promising Development Paths: Proceedings of the International Conference, Moscow, April 25–27, 2024*. Moscow: Lomonosov MSU; 2024: 69–77. (In Russian).
17. Kupriyanovsky VP, Sinyagov SA, Namiot DE, et al. Ekonomicheskie vygody primeneniya kombinirovannykh modelei BIM-GIS v stroitel'noi otrasli. Obzor sostoyaniya v mire [Economic Benefits of Using Combined BIM-GIS Models in the Construction Industry.

- A Review of the Current State of Affairs in the World]. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016;4(5): 14–25. (In Russian).
18. Tararin AM, Tararina EG, Sazonova AV, et al. Ispol'zovanie edinoi elektronnoi kartograficheskoi osnovy v gradostroitel'noi deyatel'nosti [The Use of a Unified Electronic Cartographic Base in Urban Planning Activities]. *Geodesy and Cartography*. 2025;86(6): 34–42. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2025-1020-6-34-42.
 19. Brovko EA, Sofinov RE. Razrabotka proekta natsional'nogo standarta v oblasti geodezii i kartografii: topograficheskii monitoring dlya obnovleniya tsifrovyykh (elektronnykh) topograficheskikh kart i aktualizatsii prostranstvennykh dannykh [Development of a National Standard in the Field of Geodesy and Cartography: Topographic Monitoring for Updating Digital (Electronic) Topographic Maps and Updating Spatial Data]. *Geodesy and Cartography*. 2024;6: 21–30. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2024-1008-6-21-30.

authors**Andrei M. Tararin**

✉ a_tararin@edu.miigaik.ru

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

Department of Real Estate Management and Territory Development,

Faculty of Territory Management

PhD in Engineering

ID 0000-0003-2460-4434

Alina A. Proskurina

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

Department of Real Estate Management and Territory Development,

Faculty of Territory Management

ID 0009-0007-0807-7722

Submitted: December 11, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.



Проблемы использования космических снимков при зонировании территории населенных пунктов для комплексного развития территории

А.С. Шиленкова¹✉, В.В. Беленко¹

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
✉ shilenkovanastya2001@mail.ru

цитирование Шиленкова А.С., Беленко В.В. Проблемы использования космических снимков при зонировании территории населенных пунктов для комплексного развития территории // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 131–143. DOI:10.30533/GiA-2026-019.

ключевые слова зонирование территории, комплексное развитие территории, дистанционное зондирование Земли из космоса, космическая съемка, градостроительная документация, территориальное планирование, градостроительное зонирование, территориальная зона, функциональная зона

аннотация В статье рассматриваются проблемы, которые возникают при проведении зонирования территории с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса для задач комплексного развития территории. Данная тема стала особенно актуальной в связи с активным выполнением на территории города Москвы программы «Индустриальные кварталы», которая заключается в застройке бывших промышленных территорий объектами социально-культурного назначения. В рамках исследования был проведен анализ действующего законодательства в области комплексного развития и зонирования территории. Результаты анализа показали, что в настоящее время, несмотря на модернизацию технологий и методов в сфере проведения зонирования с использованием данных ДЗЗ из космоса и усовершенствование законодательства в этой сфере, существуют проблемы, которые негативно сказываются на результате зонирования. Недостаточно жесткие требования к проведению зонирования территории с применением данных ДЗЗ из космоса и некачественное проведение экспертизы при приемке работ приводят к ряду таких негативных последствий, как наложение территориальных зон, некорректная идентификация объектов на космическом снимке, неучет инфраструктуры (социальной, транспортной, общественно-деловой, инженерной и т. д.) в районе и городе в целом, неверный расчет плотности населения, рабочих мест и др. Результаты исследования подтверждают необходимость ужесточения требований в области градостроительства и строительства к проведению зонирования территории с использованием данных ДЗЗ из космоса. Это позволит избежать существующих проблем при зонировании территории.

1 Введение

Зонирование проводилось еще в античных и средневековых городах, когда территории фактически делили по функциям. В Древнем Риме существовали жилые кварталы (инсулы), форум (общественный центр), промышленные зоны (за пределами городских стен), действовали законы, которые регулировали высоту зданий и ширину улиц. В Древнем Китае при династии Чжоу (1046–256 годы до н. э.) была документально зафиксированная классификация земель внутри городов. В Ведической Индии (1500–500 годы до н. э.) существовало зонирование по социальному и функциональному признакам. Средневековые европейские города делились на торговые, ремесленные и жилые районы. При этом промышленные производства (например, кожевенные мастерские) выносились за стены из-за шума и запахов. Современная система правового зонирования территории зародилась в США в начале XX века [1].

Зонирование представляет собой деление территории на зоны согласно их предполагаемому использованию. Понятие зонирования территории, его цели и задачи законодательно закреплены в ст. 1 гл. 4 Градостроительного кодекса РФ¹.

Согласно Градостроительному, Земельному кодексам и другим нормативно-правовым актам РФ, существует несколько видов зонирования: градостроительное, функциональное, экологическое, правовое, ландшафтное. Соответственно, выделяются следующие зоны: территориальные, функциональные, с ограничениями (санитарно-защитные, водоохранные и др.), ограничивающие (приаэродромные, охранные и др.), буферные. Как отмечают А.А. Новиков и О.И. Насонова, зонированием определяется правовой режим недвижимости — зданий и сооружений, расположенных на земельном участке [2].

В соответствии с ст. 35 Градостроительного кодекса РФ, территория населенного пункта подразделяется на следующие территориальные зоны: жилые, общественно-деловые, производственные, рекреационные, зоны инженерной и транспортной инфраструктур, сельскохозяйственного использования, специального назначения, режимных территорий.

Современные подходы к зонированию, которое является важнейшим условием развития любой территории [3], все чаще опираются на геоинформационные технологии и данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Иностранные исследователи установили, что несовершенство системы зонирования приводит к неорганизованному расширению городской застройки, захвату сельскохозяйственных и природных территорий [4]. Во избежание подобных ошибок важно регулярно обновлять правила землепользования на основе объективных данных ДЗЗ из космоса, особенно в быстро растущих мегаполисах.

В Москве зонирование очень востребовано в связи с проведением комплексного развития территорий. Важность комплексного развития и первые его результаты освещены в работе [5], а правовые аспекты подробно рассмотрены в практическом пособии «Юридический справочник застройщика»².

Цели комплексного развития территории обозначены в ст. 64 Градостроительного кодекса РФ. В Москве основными целями данной программы являются повышение качества городской среды и развитие инфраструктуры. Важным инструментом для этого выступает грамотное и рациональное зонирование территории. Информация о комплексном развитии территории в пределах Москвы размещена на официальном сайте Градостроительного комплекса Москвы³.

1 Градостроительный кодекс Российской Федерации: ввод. Федеральным законом РФ от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody&nd=102090643> (дата обращения: 10.07.2025).

2 Юридический справочник застройщика / под ред. Д.С. Некрестьянова. 9-е изд. СПб.: Качкин и Партнеры, 2024. 466 с.

3 Градостроительный комплекс Москвы: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stroimsk.ru> (дата обращения: 10.07.2025).

Если изучить проекты комплексного развития территории, реализованные на территории Москвы, можно заметить, что у каждого из них имеется своя методика зонирования территории. В связи с этим при использовании таких территорий в будущем возникает ряд сложностей: нехватка парковочных мест, пешеходных зон и автодорог для проезда транспорта; отсутствие достаточного количества детских площадок и территории для выгула собак; отсутствие или недостаточное количество общественно-деловых зон (образовательные учреждения, социально-культурные объекты, объекты офисного и коммерческого назначения и т. д.). Анализ проблем при выполнении зонирования территории позволяет рационально планировать застройку, оптимизировать будущее использование земель, обеспечивать устойчивое развитие территории, улучшать экологическую ситуацию в городе и повышать качество жизни населения.

Дополняя исторический экскурс в рассматриваемую проблему, отметим, что в России интерес к зонированию территории появился еще в дореволюционный период, но системное развитие данной области началось в советское время, продолжилось в постсоветский период и с 2010 года усилилось из-за влияния ряда факторов: от изменений в градостроительной политике и экономических условий до растущей потребности в устойчивом развитии и решении накопившихся проблем монофункциональной застройки. В научных журналах в это время публиковались статьи об актуальности зонирования, его целях и задачах [6–9]. Стало очевидным, что зонирование территории позволяет контролировать застройку городских территорий и регулировать использование земель, что является важным аспектом при управлении земельными ресурсами.

2 Материалы и методы

Исследование проводилось на примере Москвы (районы Тропарево-Никулино, Косино-Ухтомский, Зюзино, Бирюлево Восточное, Южное Бутово, Фили-Давыдково, Беговой, Хорошевский) в связи с активной застройкой промышленных территорий в городе. Большое количество таких территорий позволит лучше изучить тему и выявить проблемы, возникающие при зонировании с использованием данных ДЗЗ из космоса для задач комплексного развития территории.

При проведении исследования были использованы следующие материалы: научная литература в области ДЗЗ из космоса и зонирования территории; программа Google Earth Pro для изучения космических снимков Москвы; открытые интернет-источники (справочно-правовые системы ГАРАНТ⁴ и «КонсультантПлюс»⁵, федеральный портал проектов нормативных правовых актов⁶, сайты Правительства Москвы⁷, Роскосмоса⁸, Московской программы комплексного развития территорий⁹, электронная версия журнала «Вестник Москвы»¹⁰).

4 ГАРАНТ: справочно-правовая система. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.garant.ru> (дата обращения: 10.07.2025).

5 КонсультантПлюс: справочная правовая система. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.07.2025).

6 Федеральный портал проектов нормативных правовых актов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://regulation.gov.ru> (дата обращения: 10.07.2025).

7 Официальный портал Мэра и Правительства Москвы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mos.ru> (дата обращения: 10.07.2025).

8 Госкорпорация «Роскосмос»: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru> (дата обращения: 10.07.2025).

9 Московская программа комплексного развития территорий: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://krt.mos.ru> (дата обращения: 10.07.2025).

10 Вестник Москвы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vestnikmoscow.mos.ru/journal> (дата обращения: 10.07.2025).

В ходе анализа зонирования, осуществляемого в Москве для решения задач комплексного развития территории, были изучены с помощью программы Google Earth Pro данные космических снимков города с целью выявления проблемных зон.

3 Результаты

Некоторые исследователи справедливо утверждают, что в России зонирование территории является важным инструментом при отраслевом и территориальном управлении, позволяющим эффективно организовывать использование ресурсов и пространства, а также при реализации отраслевой политики и стратегии управления, направленных на обеспечение устойчивого развития региона с учетом отраслевых потребностей и особенностей [10]. Из-за своей специфики зонирование территории является важным этапом при проведении комплексных кадастровых работ, поскольку от этого зависит дальнейшая эксплуатация территории [11].

В настоящее время данные ДЗЗ из космоса получили широкое применение при зонировании территорий по всему миру, в том числе и в России. Космические снимки и оперативный космический мониторинг могут служить высококачественной основой для разработки схем территориального планирования, куда входит и зонирование территории. Они дают исчерпывающую информацию о природных ресурсах, объектах транспортной и инженерной инфраструктур и других объектах [12]. Данные ДЗЗ из космоса позволяют получить цифровые изображения участков земной поверхности с высоким пространственным разрешением и в широком диапазоне спектра электромагнитных волн [13]. Как показывает практический опыт, космические снимки имеют преимущество перед традиционными картографическими документами, поскольку последние быстро устаревают из-за интенсивного развития территорий [14].

Отметим при этом, что использование данных ДЗЗ из космоса при зонировании территории не всегда удобно и рационально.

Во-первых, для обработки и анализа таких данных требуются высококвалифицированные специалисты с большим практическим опытом, что может быть экономически невыгодно при единичных исследованиях небольших территорий. В современном мире информационные технологии постоянно развиваются и совершенствуются. Это касается и сферы ДЗЗ. Поскольку постоянно создаются новые технологии для проведения ДЗЗ из космоса, необходимо своевременно проводить для специалистов семинары, курсы повышения квалификации, чтобы можно было использовать соответствующее оборудование. В настоящий момент на территории России не так много специалистов, которые соответствуют действующим стандартам работы с современным оборудованием для проведения ДЗЗ из космоса. Это способствует повышению ценовой планки на рынке труда, что, в свою очередь, ведет к ограничению круга потенциальных потребителей. В аналитическом отчете аэрокосмического холдинга SR Space за 2024 год отмечается недостаток высококвалифицированных специалистов как один из ключевых барьеров развития рынка ДЗЗ в России. Еще одним препятствием для широкого использования технологий названа высокая стоимость данных и услуг ДЗЗ¹¹.

Во-вторых, программное обеспечение, которое используется для обработки цифровых снимков, имеет высокую стоимость, что может ограничивать его использование. Как и в первом случае, это приводит к повышению стоимости оказываемой услуги и ограничению круга потенциальных потребителей.

11 Рынок дистанционного зондирования Земли и анализа снимков. Часть 2: Особенности рынка в России / SR Space. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://srspace.ru/news#research> (дата обращения: 10.07.2025).

В-третьих, результаты обработки космических снимков нельзя считать окончательными без проверки на местности — для этого проводят полевые исследования. Такая двойная проверка увеличивает сроки и бюджет проекта. При этом услуги геодезистов в настоящее время стоят дорого, а если территория обладает сложными характеристиками (большая площадь, высокая плотность застройки, пересеченный рельеф), стоимость работы возрастает. В итоге заказчик может столкнуться с тем, что проект окажется экономически нецелесообразным.

В-четвертых, в некоторых случаях данные ДЗЗ из космоса могут не обеспечивать необходимую точность и детализацию для специфических задач, особенно в сложных условиях (например, при густой растительности или плохих погодных условиях).

В-пятых, в России отсутствует единый нормативно-правовой акт в области применения данных ДЗЗ из космоса, который бы регулировал все аспекты использования спутниковых систем. Согласно открытым данным, разрабатывается проект Федерального закона «О дистанционном зондировании Земли из космоса»¹². Основная идея данного законопроекта заключается в закреплении норм регулирования правоотношений в области ДЗЗ из космоса в части работы космических аппаратов, а также приема, сбора и обработки данных с таких аппаратов. Принятие закона создаст правовые условия для организации эффективного применения космических систем ДЗЗ из космоса в целях устойчивого развития территории страны. Госкорпорация «Роскосмос» с 2021 года пытается добиться принятия данного закона, но на сегодняшний момент единого нормативного акта в области ДЗЗ из космоса нет.

Помимо перечисленных проблем, определяемых внешними факторами, выделяются проблемы, которые в большей степени связаны с качеством выполнения работ в данной области.

Во-первых, для экономии средств и времени при зонировании территории зачастую используют данные ДЗЗ из космоса с дефектами (космические снимки с солнечными бликами или сделанные при неблагоприятных условиях, не приведенные к ортофото). Вследствие этого на изучаемой территории нельзя идентифицировать все объекты, и сам космический снимок не привязан к местности с требуемой точностью. Данные ошибки могут привести к неправильному определению границ территориальных зон, поэтому требуют особого внимания (например, для устранения солнечных бликов на космических снимках в Китае на протяжении нескольких лет разрабатывают различные технологические решения [15]). На рис. 1 представлен взятый из программы Google Earth Pro космический снимок, который иллюстрирует рассматриваемую проблему.

Во-вторых, часто применяются снимки с низким разрешением (более 10 м). Это также приводит к неверному определению территориальных зон, а в дальнейшем — к неправильному использованию территории.

Рис. 1 ➤

Космоснимок территории Хорошевского и Бегового районов г. Москвы (май 2022 г.)

Fig. 1

Satellite image of the Khoroshevsky and Begovoy districts of Moscow (May 2022)



¹² Проект федерального закона «О дистанционном зондировании Земли из космоса» // Госкорпорация «Роскосмос»: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/31355/> (дата обращения: 10.07.2025).

Таблица 1 
Объекты на территории
Москвы, построенные
с нарушением
градостроительных норм
Table 1
Objects on the territory
of Moscow, implemented
in violation of urban
planning regulations

В-третьих, на этапе зонирования территории, находящейся в черте населенного пункта, не всегда учитываются такие факторы, как инфраструктура, миграционный приток на застраиваемую территорию, плотность застройки. В итоге на территории населенного пункта появляются жилые кварталы без инфраструктуры и комфортного проживания. Примеры таких объектов на территории Москвы приведены в табл. 1.

В-четвертых, при зонировании в рамках комплексного развития территории не всегда учитываются инфраструктура и размещение функциональных зон. В настоящий момент большую часть территории отводят под многоквартирные дома и коммерческую недвижимость (табл. 1). Отсутствие рекреационных зон (или их недостаток) приводит к ухудшению экологической ситуации, особенно в Москве.

Объект	Административный округ	Нарушения
ЖК «Академ-Палас»	Западный	Отсутствие полного набора социальной инфраструктуры
ЖК «Мегаполис»	Восточный	Отсутствие школ, детских садов, поликлиники и спортивного комплекса
ЖК «Нахимовский 21»	Западный	Отсутствие социальной инфраструктуры
ЖК «Царицыно»	Южный	Чрезмерная плотность застройки, недостаточное количество парковочных мест, проблемы с транспортной доступностью, перегрузка существующей инфраструктуры
ЖК «Новое Бутово»	Новомосковский	Недостаточное количество социальных объектов, проблемы с озеленением территории, перегруженность дорожной сети
ЖК «Триумфальный»	Западный	Высокая плотность застройки, недостаточное количество парковочных мест, проблемы с инсоляцией зданий, перегрузка существующей инфраструктуры

4 Обсуждение

В предыдущем разделе описаны два блока проблем использования космических снимков при зонировании территории. Для тех проблем, которые определяются внешними факторами, можно предложить следующие решения.

1. Обучение и повышение квалификации специалистов в области обработки данных ДЗЗ из космоса. Программа повышения квалификации может включать в себя обработку космических снимков, автоматизированное распознавание объектов, космический мониторинг и работу с современными программными продуктами (современные геодезические приборы, спутниковые станции приема данных, специализированное программное обеспечение). Обучение может проводиться как для специалистов, занимающихся обработкой данных ДЗЗ из космоса, так и для руководителей организаций в данной области.
2. Лицензирование и совместное использование программного обеспечения. Данное решение подразумевает введение программ лицензирования с более доступными для малого и среднего бизнеса опциями, а также возможность совместного использования программного обеспечения, что позволит создать единые стандарты обработки данных ДЗЗ из космоса, автоматизировать (а значит, ускорить) процессы обмена данными. Лицензирование приведет к четкому распределению прав доступа к программному обеспечению, контролю над использованием программных продуктов, появлению у пользователя возможности обновлять их и обращаться при необходимости к поддержке разработчиков. В целом лицензирование и совместное использование программного обеспечения позволят рационально расходовать ресурсы, минимизировать простои в работе и повышать производительность труда, что затруднительно при использовании существующих программных продуктов.

3. Усовершенствование процесса интеграции данных ДЗЗ из космоса с полевыми исследованиями. При комбинировании с полевыми исследованиями специалисты в области обработки данных ДЗЗ из космоса смогут точно определять границы объектов, классифицировать типы растительности, оценивать параметры биомассы и проводить мониторинг антропогенных воздействий. Это будет способствовать также устранению погрешностей ДЗЗ из космоса, валидации результатов моделирования, уточнению параметров объектов и повышению детализации данных.
4. Оптимизация затрат. Требуется разработать методики и технологии, позволяющие снизить затраты на приобретение и обработку данных для небольших территорий, сделав эти процессы экономически оправданными. Снизить затраты можно следующими способами: внедрить автоматизированные системы обработки данных ДЗЗ из космоса, использовать облачные решения для хранения данных, применять алгоритмы сжатия данных и оптимизировать процесс передачи данных.
5. Улучшение технологий ДЗЗ из космоса. Необходимо постоянно совершенствовать технологии ДЗЗ для повышения точности и детализации данных (особенно в сложных условиях). Так, можно повысить пространственное разрешение сенсоров, развить мульти- и гиперспектральные системы, внедрить радиолокационные методы наблюдения и модернизировать систему стабилизации спутников. Все это поможет повысить точность определения координат объектов, улучшить детализацию изображений в сложных погодных условиях, снизить влияние атмосферных искажений и повысить достоверность получаемых данных.
6. Принятие закона о ДЗЗ из космоса. Этот шаг необходим для создания единых требований к использованию космических данных, в том числе при проведении зонирования территории.

Для решения проблем, связанных с качеством обработки данных ДЗЗ, можно сделать следующее.

1. Использование не одного, а серии космических снимков при зонировании территории. Необходимо применять изображения за разный промежуток времени (интервал не должен превышать одного года) и в разное время года для повышения качества обработки. Это снизит риск неверного распознавания объектов и повысит качество проведения зонирования (рис. 2, 3). Изучить снимки за разные промежутки времени можно с помощью программы Google Earth Pro. На рис. 2 и 3 представлены два взятых из данной программы космоснимка, которые отражают важность использования изображений за разный промежуток времени: на рис. 2 красным отмечены места с облачностью, на рис. 3 те же участки без дефекта в виде облачности обведены белым. Таким образом, чем больше при анализе территории зонирования использовано снимков за разные промежутки времени, тем меньше на данном этапе будет ошибок.

Рис. 2 ▼

Космоснимок района Зюзино г. Москвы с облачностью (август 2024 г.)

Fig. 2

Satellite image of the territory of the Zyuzino district of Moscow with clouds (August 2024)

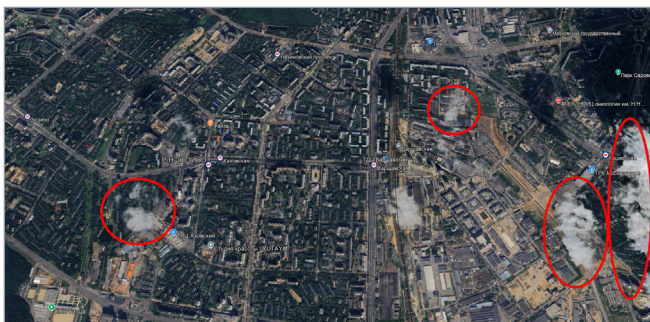
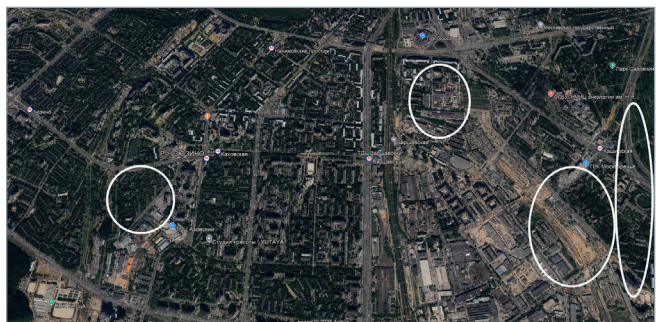


Рис. 3 ▼

Космоснимок района Зюзино г. Москвы с минимальными дефектами (май 2024 г.)

Fig. 3

Satellite image of the territory of the Zyuzino district of Moscow with minimal defects (May 2024)



2. Использование при зонировании территории космических снимков с допустимым разрешением от 0,2 до 10 м. Разрешение космического снимка влияет на обнаружение объектов и дальнейшее зонирование. При низком разрешении есть большой риск неверного обозначения границ лесных насаждений, инфраструктур и т. д., что повлечет за собой неверное обозначение зон и неправильное будущее использование территории.
3. Учет параметров застройки соседних территорий, а также включение в территорию зонирования максимально возможной инфраструктуры. Данное требование восполнит дефицит социальных объектов при строительстве новых многоквартирных домов, а также поможет решить возможные проблемы с инфраструктурой на соседних территориях.
4. Детальное изучение рельефа и особенностей территории перед зонированием. Рациональное зонирование с добавлением большого количества озеленения могло бы способствовать успешной реализации комплексного развития территории [16].

5 Выводы

Настоящее исследование, проведенное на территории Москвы, позволяет сделать следующие выводы.

В связи с высоким спросом на застройку территорий в Москве увеличилась и потребность в проведении их зонирования. Это важный и основополагающий инструмент в современных земельных отношениях, ведь именно благодаря ему определяется будущий вид территории [17]. Он позволяет создать удобное для населения пространство, способствует стабильному развитию и успешному осуществлению различных видов деятельности, является эффективным методом управления урбанизированными территориями [18].

Зонирование выполняет много функций, среди которых:

- регулирование использования территории (определяется целевое назначение территории, устанавливаются правила ее использования, контролируется соблюдение установленных норм);
- планирование городского развития (определяется перспектива развития территорий, формируется комфортная городская среда, создается сбалансированная инфраструктура, оптимизируется использование пространства);
- экономическая эффективность (повышаются стоимость недвижимости и инвестиционная привлекательность, оптимизируются градостроительные решения, рационально используются ресурсы);
- защита интересов граждан (обеспечиваются права собственников, интересы местных обществ, предотвращаются конфликты между пользователями, сохраняются природные и культурные ценности);
- административное управление (упрощается контроль за строительством, стандартизируются требования к застройке территории, создаются четкие правила землепользования, обеспечивается прозрачность процессов);
- повышение социального комфорта (формируется комфортная для проживания среда, обеспечивается доступная инфраструктура, создаются условия для развития различных видов деятельности, улучшается качество жизни населения);
- защита окружающей среды (охраняются природные территории, планируются рекреационные зоны, сохраняются зеленые насаждения, учитываются экологические требования);
- обеспечение безопасности (определяются потенциально опасные зоны, устанавливаются защитные зоны, учитываются природные риски).

Зонирование территории также может повысить конкурентоспособность города, что является важной задачей для правительства [19].

Важно при этом отметить, что технологии ДЗЗ из космоса выступают незаменимым инструментом для изучения и постоянного мониторинга Земли, помогающим эффективно использовать ее ресурсы и управлять ими, в том числе осуществлять зонирование территорий¹³.

Проблемы зонирования территории с использованием ДЗЗ из космоса для задач комплексного развития территории, описанные в данной статье, отличаются актуальностью и остротой. Предлагаемые решения данных проблем позволяют оптимизировать проведение зонирования, улучшить экологическую обстановку города и повысить качество жизни населения.

библиография

1. Hirt S.A. Zoned in the USA: The Origins and Implications of American Land-Use Regulation. Ithaca, NY: Cornell University Press, 2014. 256 p.
2. Новиков А.А., Носова О.И. Аспекты правового регулирования зонирования территорий городских и сельских поселений // Экономика и экология территориальных образований. 2016. № 2. С. 31–34.
3. Береговских А.Н. Зонирование как метод архитектурно-пространственного проектирования и инструмент управления развитием территорий // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2024. № 4 (63). С. 39–45. DOI:10.25628/UNIIP.2024.63.4.007.
4. Li J., Sun Z. Does the Transfer of State-Owned Land-Use Rights Promote or Restrict Urban Development? // Land Use Policy. 2021. Vol. 100. P. 104945. DOI:10.1016/j.landusepol.2020.104945.
5. Попкова А.А., Конев Ю.М., Канюков М.В. Комплексное развитие территорий: современное состояние и проблемы реализации // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. 2023. Т. 16, № 2. С. 38–53. DOI:10.31660/1993-1824-2023-2-38-53.
6. Болтанова Е.С. Зонирование земель // Сибирский юридический вестник. 2012. № 2 (57). С. 33–37.
7. Болтанова Е.С. Зонирование земель и их застройка: проблемы правоприменения // Вестник Омского университета. Серия: Право. 2012. № 3 (32). С. 190–193.
8. Липски С.А. Зонирование территорий как механизм обеспечения целевого использования земель // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2013. № 6 (141). С. 59–65.
9. Ладыгина Е.Р. Правовые вопросы изменения генерального плана города Москвы, зонирования территорий в связи с расширением территории города Москвы // Актуальные проблемы российского права. 2012. № 3 (24). С. 94–101.
10. Агибалов А.В., Терновых К.С., Куренная В.В. и др. Формирование пространственных полюсов роста сельской периферии в традиционно-аграрных регионах // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 2 (77). С. 157–166. DOI:10.53914/issn2071-2243_2023_2_157.
11. Рыженков А.Я. О принципе обеспечения комплексного и устойчивого развития территории на основе территориального планирования, градостроительного зонирования и планировки территории // Аграрное и земельное право. 2020. № 1 (181). С. 55–60.
12. Кресникова Н.И., Васильевых Н.А. Применение данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий для обеспечения территориального планирования // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2018. Т. 62, № 2. С. 212–217. DOI:10.30533/0536-101X-2018-62-2-212-217.
13. Торсунова О.Ф. Использование данных космической съемки сверхвысокого разрешения для решения задач территориального зонирования // Вестник СГУТиТ. 2018. Т. 23, № 2. С. 219–230.
14. Хабаров Д.А., Адиев Т.С., Попова О.О. и др. Анализ современных технологий дистанционного зондирования Земли // Московский экономический журнал. 2019. № 1. С. 181–190. DOI:10.24411/2413-046X-2019-11068.

13 Карманов А.Г., Кнышев А.И., Елисеева В.В. Геоинформационные системы территориального управления: учеб. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 121 с.

15. Duan P., Lai J., Kang J. Texture-aware Total Variation-Based Removal of Sun Glint in Hyperspectral Images // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2020. Vol. 166. P. 359–372. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2020.06.009.
16. Киншт А.В. Экологические аспекты территориального зонирования. Проблемы преобразования среды жизнедеятельности // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 6 (65). С. 41–49.
17. Панферов Е.А. К вопросу о градостроительном зонировании // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. № 2. С. 108–110. DOI:10.24411/2411-0450-2019-10376.
18. Хабарова И.А., Хабаров Д.А., Радзиевский А.И. Зонирование как инструмент управления земельными ресурсами застроенных территорий // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2019. № 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eScience.ru/ru/nauka/article/85994/view> (дата обращения: 10.07.2025).
19. Хаит А.Н., Ковалев А.С. Зонирование как инструмент социально-экономического развития городских территорий // Молодой ученый. 2020. № 25 (315). С. 70–73. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/315/71749> (дата обращения: 10.07.2025).

авторы Шиленкова Анастасия Сергеевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра космического мониторинга и экологии, картографический факультет
 0009-0004-5930-3812

Беленко Виктор Владимирович

 belenko.v.v@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра космического мониторинга и экологии, картографический факультет
д-р техн. наук, профессор
 0000-0002-7159-7428

Поступила 14.07.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Problems of Using Satellite Images in the Zoning of the Territory of Settlements for the Integrated Development of the Territory

Anastasia S. Shilenkova¹✉, Victor V. Belenko¹

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ shilenkovanastya2001@mail.ru

citation Shilenkova AS, Belenko VV. Problems of Using Satellite Images in the Zoning of the Territory of Settlements for the Integrated Development of the Territory. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 131–143. DOI:10.30533/GiA-2026-019.

keywords zoning of the territory, integrated development of the territory, remote sensing of the Earth from space, satellite imagery, urban planning documentation, territorial planning, urban zoning, territorial zone, functional zone

abstract The article discusses the problems that arise when zoning a territory using remote sensing data from space (hereinafter referred to as remote sensing from space) for the tasks of integrated development of the territory. This topic has become relevant due to the active implementation of the Industrial Quarters program in Moscow, which consists in building former industrial territories with socio-cultural facilities. As part of the study, the concepts of “integrated territorial development”, “zoning of the territory” and “remote sensing of the Earth from space” were studied, as well as an analysis of current legislation in this area. The results of the analysis showed that currently, despite the modernization of technologies and methods in the field of zoning using remote sensing data from space and improvements in legislation in this area, there are problems that negatively affect the result of zoning. Insufficiently stringent requirements for zoning the territory using remote sensing data from space and poor-quality expertise during acceptance of work lead to a number of negative consequences such as the imposition of territorial zones, incorrect identification of objects in the satellite image, not taking into account the infrastructure (social, transport, public and business, engineering, etc.) in the area and the city in general, incorrect calculation of population density, jobs, and so on. The results of the study confirm the need to tighten the requirements in the field of urban planning and construction for zoning the territory using remote sensing data from space. This will avoid existing problems when zoning the territory.

references

1. Hirt SA. *Zoned in the USA: The Origins and Implications of American Land-Use Regulation*. Ithaca, NY: Cornell University Press; 2014. 256 p.
2. Novikov AA, Nosova OI. Aspekty pravovogo regulirovaniya zonirovaniya territorii gorodskikh i sel'skikh poselenii [Aspects of the Legal Regulation of Zoning of Urban and Rural Settlements]. *Economy and Ecology of Territorial Formations*. 2016;2: 31–34. (In Russian).
3. Beregovskikh AN. Zonirovanie kak metod arkhitekturno-prostranstvennogo proektirovaniya i instrument upravleniya razvitiem territorii [Zoning as a Method of Architectural and Spatial Design and a Tool for Managing the Development of Territories]. *Academic Bulletin of UralNIIProekt RAASN*. 2024;4(63): 39–45. (In Russian). DOI:10.25628/UNIIP.2024.63.4.007.
4. Li J, Sun Z. Does the Transfer of State-Owned Land-Use Rights Promote or Restrict Urban Development? *Land Use Policy*. 2021;100: 104945. DOI:10.1016/j.landusepol.2020.104945.
5. Popkova AA, Konev YuM, Kanyukov MV. Kompleksnoe razvitie territorii: sovremennoe sostoyanie i problemy realizatsii [Integrated Development of Territories: Current State and Problems of Implementation]. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Sociology. Economics. Politics*. 2023;16(2): 38–53. (In Russian). DOI:10.31660/1993-1824-2023-2-38-53.
6. Boltanova ES. Zonirovanie zemel' [Zoning of Lands]. *Siberian Law Bulletin*. 2012;2(57): 33–37. (In Russian).
7. Boltanova ES. Zonirovanie zemel' i ikh zaostroika: problemy pravoprimereniya [Zoning of Lands and Their Development: Problems of Law Enforcement]. *Herald of Omsk University*. Series: Law. 2012;3(32): 190–193. (In Russian).
8. Lipski SA. Zonirovanie territorii kak mekhanizm obespecheniya tselevogo ispol'zovaniya zemel' [The Zoning of Territories as a Mechanism for the Designated Use of Land]. *Property Relations in the Russian Federation*. 2013;6(141): 59–65. (In Russian).
9. Ladygina ER. Pravovye voprosy izmeneniya general'nogo plana goroda Moskvy, zonirovaniya territorii v svyazi s rasshireniem territorii goroda Moskvy [Legal Issues of the Amendments to the General Plan of Moscow City and Town Zoning Caused by Expansion of the Territory of the Moscow City]. *Actual Problems of Russian Law*. 2012;3(24): 94–101. (In Russian).
10. Agibalov AV, Ternovyykh KS, Kurennaya VV, et al. Formirovanie prostranstvennykh polyusov rosta sel'skoi periferii v traditsionno-agrarnykh regionakh [Formation of Spatial Growth Poles of Rural Periphery in Traditional Agricultural Regions]. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(2(77)): 157–166. (In Russian). DOI:10.53914/issn2071-2243_2023_2_157.
11. Ryzhenkov AY. O printsipe obespecheniya kompleksnogo i ustoichivogo razvitiya territorii na osnove territorial'nogo planirovaniya, gradostroitel'nogo zonirovaniya i planirovki territorii [On the Principle of Ensuring the Integrated and Sustainable Development of the Territory on the Basis of Territorial Planning, Urban Zoning and Planning of the Territory]. *Agrarian and Land Law*. 2020;1(181): 55–60. (In Russian).
12. Kresnikova NI, Vasil'evykh NA. Primenenie dannykh distantsionnogo zondirovaniya i geoinformatsionnykh tekhnologii dlya obespecheniya territorial'nogo planirovaniya [Remote Sensing and Geoinformation Technology Data Usage for Spatial Planning Ensuring]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2018;62(2): 212–217. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2018-62-2-212-217.
13. Torsunova OF. Ispol'zovanie dannykh kosmicheskoi s'emki sverkhvysokogo razresheniya dlya resheniya zadach territorial'nogo zonirovaniya [Use of Aerial Superresolution Survey Data for Solving the Tasks of Territorial Zoning]. *Vestnik SSUGT*. 2018;23(2): 219–230. (In Russian).
14. Khabarov DA, Adiev TS, Popova OO, et al. Analiz sovremennykh tekhnologii distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Analysis of Modern Technologies of Remote Sensing of the Earth]. *Moscow Economic Journal*. 2019;1: 181–190. (In Russian). DOI:10.24411/2413-046X-2019-11068.
15. Duan P, Lai J, Kang J. Texture-aware Total Variation-Based Removal of Sun Glint in Hyperspectral Images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2020;166: 359–372. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2020.06.009.

16. Kinsht AV. Ekologicheskie aspekty territorial'nogo zonirovaniya. Problemy preobrazovaniya sredy zhiznedeyatel'nosti [Ecological Aspects of Urban Development Zoning. Transformation of Living Environment]. *Journal of Construction and Architecture*. 2017;6(65): 41–49. (In Russian).
17. Panferov EA. K voprosu o gradostroitel'nom zonirovanii [On the Issue of Urban Zoning]. *Economics and Business: Theory and Practice*. 2019;2: 108–110. (In Russian). DOI:10.24411/2411-0450-2019-10376.
18. Khabarova IA, Khabarov DA, Radzievskii AI. Zonirovanie kak instrument upravleniya zemel'nymi resursami zastroennykh territorii [Zoning as a Tool for Managing Land Resources in Built-Up Areas]. *International Journal of Applied Sciences and Technology Integral*. 2019;1. (In Russian). Available from: <https://ecienc.ru/ru/nauka/article/85994/view> (Accessed 10 July 2025).
19. Khait AN, Kovalev AS. Zonirovanie kak instrument sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya gorodskikh territorii [Zoning as a Tool for the Socio-Economic Development of Urban Areas]. *Young Scientist*. 2020;25(315): 70–73. (In Russian). Available from: <https://moluch.ru/archive/315/71749> (Accessed 10 July 2025).

authors**Anastasia S. Shilenkova**

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
 Department of Space Monitoring and Ecology, Faculty of Cartography

 0009-0004-5930-3812

Victor V. Belenko

 belenko.v.v@yandex.ru

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
 Department of Space Monitoring and Ecology, Faculty of Cartography
 Dr. of Sci. (Engineering), Professor

 0000-0002-7159-7428

Submitted: July 14, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.



Особенности применения штриховых мир при испытаниях авиационных оптико-электронных систем наблюдения

Е.В. Чаусов¹✉

¹ Государственный летно-испытательный центр им. В.П. Чкалова, Ахтубинск, Россия
✉ ewhenig@yandex.ru

цитирование

Чаусов Е.В. Особенности применения штриховых мир при испытаниях авиационных оптико-электронных систем наблюдения // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 144–157. DOI:10.30533/GiA-2026-020.

ключевые слова

разрешающая способность, линейное разрешение на местности, яркостный контраст, пиксель, визуальное дешифрирование

аннотация

Ключевым инструментом оценивания характеристик пространственного разрешения оптико-электронных систем наблюдения являются штриховые миры. Несмотря на обширную нормативно-техническую базу, регламентирующую методы и средства измерения разрешающей способности и линейного разрешения на местности оптико-электронных систем, вопросы выбора вида штриховых мир остаются до конца не решенными. Целью статьи является комплексный анализ особенностей штриховых мир, а также разработка рекомендаций по их оптимальному выбору и использованию с учетом современных технических требований и условий эксплуатации. В рамках работы были проведены исследования основных геометрических параметров штриховых мир, включая форму, конфигурацию элементов, а также их распределение и ориентацию. Особое внимание уделялось контрастным характеристикам, влияющим на восприятие и разрешение изображений, а также колориметрическим свойствам, которые приобретают все большее значение в связи с широким распространением цифровых систем, работающих в цветном режиме. В результате исследования были предложены новые трехкомпонентные штриховые миры, основанные на аддитивной цветовой модели RGB (*англ.* Red, Green, Blue — «красный, зеленый, синий») и субтрактивной модели CMY (*англ.* Cyan, Magenta, Yellow — «голубой, пурпурный, желтый»), что позволяет более полно учитывать особенности цветопередачи и восприятия изображения цифровыми оптико-электронными системами. Использование таких цветовых моделей способствует повышению точности и информативности измерений, а также расширяет возможности визуального дешифрирования получаемых изображений. Кроме того, было уточнено формальное описание признаков разрешаемости штриховых мир при их визуальном анализе, что позволяет повысить объективность и воспроизводимость результатов испытаний.

1 Введение

Основной характеристикой авиационных оптико-электронных систем наблюдения (ОЭСН) является детальность формируемых ими изображений, которая оценивается величинами разрешающей способности (РС) и линейного разрешения на местности (ЛРМ).

Ключевым инструментом измерения РС и ЛРМ выступают оптические штриховые миры (ШМ). Существующая нормативно-техническая база требований к ШМ создавалась для аналоговых ОЭСН, использующих фотопленки, и не в полной мере адаптирована к специфике современных ОЭСН. Последние формируют цифровые изображения с упорядоченной растровой (пиксельной) структурой, которые отличаются от изображений на фотопленке, имеющих хаотичное зернистое строение, состоящих из отдельных точек значительно меньшего размера, чем размер пикселя матричного фотоприемника. В связи с этим вопросы выбора вида штриховых мир для определения РС и ЛРМ современных авиационных ОЭСН остаются актуальными.

Традиционным для определения РС и ЛРМ является визуальный метод, предусматривающий дешифрирование операторами-дешифровщиками изображений ШМ. Дешифрирование изображений ШМ — это процесс идентификации группы штрихов с максимальной частотой следования, где каждый штрих отчетливо различим. Несмотря на кажущуюся простоту визуального дешифрирования изображений ШМ, порядок проведения данной операции не регламентирован в явном виде в действующих нормативно-технических документах, что способствует снижению качества результатов измерений РС и ЛРМ.

Настоящая работа посвящена исследованию контрастных, геометрических, колориметрических свойств ШМ с учетом специфики работы цифровых ОЭСН, а также уточнению формального описания признаков разрешаемости оптических мир при их визуальном дешифрировании.

2 Материалы и методы

При визуальном методе распознавания отдельных штрихов в изображении ШМ имеет значение контраст между светлыми и темными штрихами. Согласно общей трактовке закона Вебера — Фехнера¹, два объекта, которые имеют яркости B_1 и B_2 , отличающиеся друг от друга на малую величину, вызывают едва заметное пороговое ощущение ε , которое называется пороговым контрастом и определяется выражением

$$1 \quad \varepsilon = \frac{\Delta B}{B} = \frac{B_1 - B_2}{B_{1,2}} = \text{const},$$

причем B_1 мало отличается от B_2 .

Однако при условии, что B_1 и B_2 существенно различаются, понятие порогового контраста становится неприменимым. В подобных случаях для квалиметрии восприятия необходимо использовать показатель, отражающий конечную интенсивность восприятия, а не только порог. Таким показателем является яркостный контраст, который по аналогии с (1) определяется выражением

$$2 \quad K = \frac{B_1 - B_2}{B_{1,2}}.$$

Основная трудность практического применения выражений (1) и (2) состоит в неопределенности выбора яркости, стоящей в знаменателе, и яркостей, между которыми следует вычислять разность в числителе. Если для порогового контраста это обстоятельство мало существенно, поскольку в выражении (1) яркости B_1 и B_2 мало отличаются друг от друга, то для яркостного контраста

1 Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 324 с.

это приобретает важное значение, поскольку яркости B_1 и B_2 в выражении (2) существенно различаются [1–3].

Фотометрический подход к контрасту, основанный на выделении максимальной (B_{max}) и минимальной (B_{min}) яркости независимо от их принадлежности к объекту или фону, порождает четыре различные метрики яркостного контраста:

3 ➔

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{B_{max}-B_{min}}{B_{max}} = 1 - \frac{B_{min}}{B_{max}}, \\ K_2 &= \frac{B_{max}-B_{min}}{B_{min}} = \frac{B_{max}}{B_{min}} - 1, \\ K_3 &= \frac{B_{min}-B_{max}}{B_{min}} = 1 - \frac{B_{max}}{B_{min}}, \\ K_4 &= \frac{B_{min}-B_{max}}{B_{max}} = \frac{B_{min}}{B_{max}} - 1. \end{aligned} \right\}$$

Геометрический же подход, напротив, четко разграничивает яркость объекта $B_{об}$ и яркость фона $B_{ф}$, фиксируя их в соотношении (2), что, в свою очередь, приводит еще к четырем новым определениям контраста:

4 ➔

$$\left. \begin{aligned} K_5 &= \frac{B_{об}-B_{ф}}{B_{об}} = 1 - \frac{B_{ф}}{B_{об}}, \\ K_6 &= \frac{B_{ф}-B_{об}}{B_{ф}} = 1 - \frac{B_{об}}{B_{ф}}, \\ K_7 &= \frac{B_{ф}-B_{об}}{B_{об}} = \frac{B_{ф}}{B_{об}} - 1, \\ K_8 &= \frac{B_{об}-B_{ф}}{B_{ф}} = \frac{B_{об}}{B_{ф}} - 1. \end{aligned} \right\}$$

Таблица 1

Значения контрастов
для некоторых предельных
условий

Table 1
Contrast values for some limiting
conditions

Такая множественность понятия контраста осложняет решение многих прикладных задач. Чтобы обосновать выбор контрастного соотношения, рассчитаем значения контрастов в соответствии с выражениями (3) и (4) для некоторых предельных условий (табл. 1).

Характеристика яркостей контрастирующих поверхностей	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
Белый объект на черном фоне	1	∞	$-\infty$	-1	1	$-\infty$	-1	∞
Черный объект на белом фоне	1	∞	$-\infty$	-1	$-\infty$	1	∞	-1
Одна яркость больше другой в 2 раза	0,5	1	-1	-0,5	0,5 или -1	-1 или 0,5	-0,5 или 1	1 или -0,5
Яркости объекта и фона равны	0	0	0	0	0	0	0	0

Согласно представленным в табл. 1 данным, «геометрические» контрасты K_5 – K_8 имеют существенный недостаток: одинаковая интенсивность зрительного восприятия (например, белое на черном, или наоборот) представлена двумя разными числовыми значениями, одно из которых отрицательное. Учитывая, что отрицательные значения контрастов, особенно при стремлении к $-\infty$, обладают лишь формальным смыслом и лишены физической интерпретации при измерении интенсивности зрительного восприятия, контрасты K_3 – K_8 исключаются из дальнейшего анализа.

В итоге остаются два «фотометрических» контраста K_1 и K_2 . Контраст K_1 обладает существенным преимуществом перед K_2 в практическом применении. В то время как K_1 изменяется в пределах от 0 до 1 для любых соотношений яркостей, что обеспечивает его понятность и физическую обоснованность, K_2 демонстрирует гораздо менее удобный диапазон от 0 до бесконечности. Подобное поведение K_2 , особенно при максимальном контрасте, создает трудности как в его наглядном представлении, так и в практическом использовании. Таким образом, K_1 является более предпочтительным, и следует использовать следующее выражение для яркостного контраста:

5 ➔

$$K = \frac{B_{max}-B_{min}}{B_{min}},$$

причем B_{max} или B_{min} может быть отнесено как к объекту, так и к фону.

Существует понятие тонового контраста, под которым понимается разность яркостей B_{max} и B_{min} :

6 
$$\Delta K = B_{max} - B_{min}.$$

Периодические объекты, такие как ШМ, которые подчиняются гармоническому закону распределения интенсивности излучения, характеризуются модуляционным контрастом, определяемым соотношением

7 
$$K_m = \frac{B_{max} - B_{min}}{B_{max} + B_{min}}.$$

С использованием математического аппарата Фурье функция распределения яркости в ШМ, яркость которой изменяется по координате x , выбранной перпендикулярно штрихам, раскладывается в ряд Фурье [4–6]:

8 
$$B(x) = B_{cp} + \Delta B \frac{4}{\pi} \left(\sin \frac{2\pi x}{d} + \frac{1}{3} \sin 3 \frac{2\pi x}{d} + \frac{1}{5} \sin 5 \frac{2\pi x}{d} + \dots \right),$$

где B_{cp} — среднее значение яркости миры;

ΔB — амплитуда 1-й гармоники;

d — период изменения яркости (период миры);

x — пространственная координата.

Как следует из формулы (8), функция $B(x)$ разлагается на отдельные синусоидальные составляющие: 1, 2, 3-ю гармоники и т. д., амплитуды которых равны ΔB , $\Delta B/3$, $\Delta B/5$, ..., пространственные частоты (ПЧ), соответственно, равны $1/d$, $3/d$, $5/d$, ..., а фазы — 0.

В спектре изображения ШМ содержатся те же гармоники, амплитуды которых будут отличаться от входных значений в соответствии с коэффициентом передачи модуляции ОЭСН для каждой ПЧ. Распределение интенсивности излучения в изображении ШМ имеет вид²

9 
$$I(x) = I_{cp} + \Delta I \frac{4}{\pi} \left(T(v_x) \sin \frac{2\pi x}{d} + \frac{1}{3} T(3v_x) \sin 3 \frac{2\pi x}{d} + \frac{1}{5} T(5v_x) \sin 5 \frac{2\pi x}{d} + \dots \right),$$

где I_{cp} — среднее значение интенсивности излучения изображения миры;

ΔI — амплитуда 1-й гармоники;

$T(v_x)$, $T(3v_x)$, $T(5v_x)$, ... — коэффициенты передачи модуляции (КПМ) на ПЧ

$v_x = 1/d$, $3v_x = 3/d$, $5v_x = 5/d$ и т. д.

Коэффициент передачи модуляции $T(v_x)$ равен отношению глубины модуляции в изображении гармонического сигнала к глубине модуляции входного гармонического сигнала:

10 
$$T(v_x) = \frac{m_{об}}{m_{из}},$$

11  где $m_{об} = \Delta B/B_{cp}$ — глубина модуляции ШМ;

12  $m_{из} = \Delta I/I_{cp}$ — глубина модуляции в изображении ШМ.

Величина глубины модуляции равна модуляционному контрасту:

13 
$$K_m = \frac{B_{max} - B_{min}}{B_{max} + B_{min}} = \frac{(B_{cp} + \Delta B) - (B_{cp} - \Delta B)}{(B_{cp} + \Delta B) + (B_{cp} - \Delta B)} = \frac{2\Delta B}{2B_{cp}} = \frac{\Delta B}{B_{cp}} = m.$$

Совокупность КПМ для различных ПЧ составляет функцию передачи модуля (ФПМ), причем каждый КПМ является ординатой ФПМ на соответствующей частоте.

Теоретически чем больше число слагаемых выражений (8) и (9), тем точнее воспроизводится разлагаемая функция. Однако на практике число членов выражения (9) ограничивается частотой среза ОЭСН v_{cp} , т. е. такой ПЧ, при которой ФПМ достигает нуля и остается нулевой на более высоких частотах. Для ШМ, у которых ПЧ v превышает величину $v_{cp}/3$, ОЭСН воспроизводит без искажений

² Карасик В.Е., Орлов В.М. Лазерные системы видения. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 352 с.

только основную гармонику периодической функции прямоугольной формы. Другими словами, прямоугольный профиль миры воспроизводится в виде синусоидального [6].

Результат измерений ФПМ перестает зависеть от числа n периодов миры уже при $n = 7$, а при $n = 4$ погрешность в определении ФПМ не превышает 3%. Для низких ПЧ выходной сигнал почти точно копирует входной. С увеличением частоты форма выходного сигнала приближается к синусоидальной, и при частотах выше $v_{cp}/3$ прямоугольная мира воспроизводится синусоидальной³.

Рис. 1 ✓

Внешний вид
резольвометрической миры
Ащеулова

Fig. 1

The appearance
of the resolvometric mira
of Ashcheulov

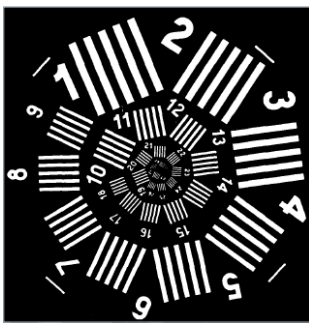


Рис. 2 ✓

Внешний вид миры ГОИ

Fig. 2

The appearance
of the GOI test-object

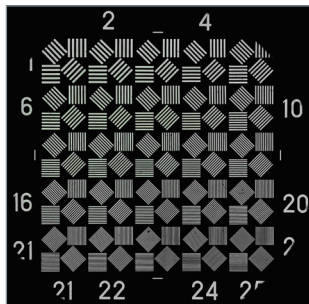
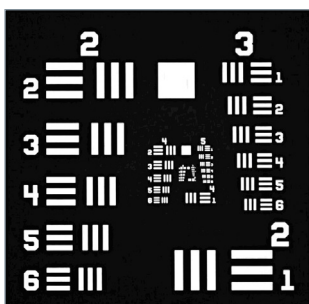


Рис. 3 ✓

Внешний вид миры USAF 1951

Fig. 3

The appearance
of the USAF 1951 test-object



3 Результаты и обсуждение

Разрешающую способность ГОСТ 23935-79 определяет как ключевую характеристику аэрофотоаппаратов, оптико-электронных систем и фотоматериалов. Она выражается максимальной частотой периодической решетки, элементы которой остаются визуально различимыми на изображении, сформированном системой при съемке стандартной миры заданного контраста⁴.

Наиболее распространенными стандартными мирами в практике оптических измерений являются резольвометрическая мира Ащеулова⁵ (рис. 1) и мира ГОИ (Государственного оптического института)⁶ (рис. 2). В зарубежной практике используется мира USAF 1951, которая была разработана для Военно-воздушных сил Соединенных Штатов Америки в 1951 году и регламентирована стандартом MIL-STD-150A⁷ (рис. 3).

В зависимости от схемы освещения миры при проведении измерений РС возможно применение негативных (светлые штрихи на темном фоне) или позитивных (темные штрихи на прозрачном фоне) мир. При использовании негативной миры ее освещение осуществляется падающим светом, т. е. источник света располагается перед мирой (между мирой и коллиматором), а при использовании позитивной миры она освещается проходящим светом, т. е. источник света располагается позади миры.

Если для РС имеется достаточно обширная нормативная база, регламентирующая основные термины и их содержание, методы определения РС и требования к используемым при этом ШМ, то в отношении ЛРМ подобное сказать затруднительно. Напротив, в существующей научно-технической литературе встречаются противоречивые и некорректные определения понятия ЛРМ.

Несмотря на то, что ГОСТ 23935-79 утратил силу, его вклад в стандартизацию остается значимым. В этом документе одним из первых предложено четкое определение ЛРМ для аэрофотоаппаратов как ширины самого узкого черного или белого штриха расположенной на земле миры, который еще можно распознать на аэрофотоснимке⁴. Данная трактовка линейного разрешения на местности продолжает применяться в процессе испытаний авиационных оптико-электронных систем наблюдения военного назначения [7].

С 2020 года в России действуют стандарты для квалиметрии данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Однако наблюдается существенное расхождение в определении ЛРМ. ГОСТ Р 59753-2021 определяет ЛРМ

3 Карасик В.Е., Орлов В.М. Лазерные системы видения. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 352 с.

4 ГОСТ 23935-79. Аэрофотоаппаратура и аэрофотографирование. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1980. 14 с.

5 ГОСТ 2819-84. Материалы фотографические. Метод определения разрешающей способности. М.: Изд-во стандартов, 1984. 6 с.

6 ГОСТ 15114-78. Системы телескопические для оптических приборов. Визуальный метод определения предела разрешения. М.: Изд-во стандартов, 1978. 6 с.

7 Holst G.C. Electro Optical Imaging System Performance. Bellingham: JCD Publishing and SPIE Optical Engineering Press, 1995. 468 p.

по ШМ (половина наименьшего различимого периода ШМ на изображении)⁸. В то же время ГОСТ Р 59475-2021 трактует ЛРМ как минимальный период решетки из параллельных объектов, которые отдельно различимы⁹. Как видно, значения ЛРМ могут различаться в два раза в зависимости от того, каким стандартом руководствоваться. Ситуация усугубляется тем, что ГОСТ Р 59475-2021 также позволяет определять ЛРМ на основе потенциальной различимости объектов, при этом не уточняя, что именно подразумевается под ней. В результате оценка ЛРМ становится субъективной и неоднозначной.

Некорректные определения ЛРМ в указанных стандартах могут быть объяснены отсутствием в них четкого определения понятий «период периодической решетки», «период тест-объекта», «потенциально различимый минимальный период периодической решетки».

Для определения ЛРМ, как и для РС, применяются ШМ. Однако прямой перенос параметров ШМ, разработанных для лабораторных условий определения РС, на условия натурного (летного) эксперимента нецелесообразен из-за больших габаритов и сложности конструкции на местности. В связи с этим при создании ШМ для летных испытаний ОЭСН разработчики стремятся к их упрощению¹⁰ [8, 9].

С учетом отсутствия стандартизированных требований к ШМ, предназначенных для оценивания ЛРМ, в практике испытаний используются миры, аналогичные ШМ, аттестованной и согласованной на международном уровне для освидетельствования ОЭСН, согласно Договору по открытому небу¹¹. Эта ШМ характеризуется наличием групп полос, где каждая группа включает три светлые полосы на темном фоне. Длина полосы как минимум в 5 раз больше ее ширины, при этом светлые и темные полосы в группе имеют одинаковую ширину, а длина полос внутри каждой группы не меняется (рис. 4).

Рис. 4 ➔

Штриховая мира для оценивания линейного разрешения на местности авиационных ОЭСН

Fig. 4

Line test-object for evaluating linear resolution on the ground of aviation optical and electronic surveillance systems



Рис. 5 ⬇

Штриховая мира для оценивания линейного разрешения на местности космических ОЭСН

Fig. 5

Line test-object for evaluating linear resolution on the ground of space optical and electronic surveillance systems



В области данных ДЗЗ из космоса для определения ЛРМ используется ШМ по ГОСТ Р 59756-2021¹² (рис. 5), которая представляет собой сегменты, состоящие не менее чем из трех пар темных и светлых штрихов, направленных под углами 0°, 45°, 90° и 135° относительно направления съемки, при этом соотношение длины штриха к его ширине в каждом сегменте не менее 5:1.

Исследование внешнего вида ШМ для определения как РС, так и ЛРМ выявило их общую характеристику — квадратную форму элементов ШМ (групп или сегментов штрихов). Такая форма считается оптимальной, поскольку

8 ГОСТ Р 59753-2021. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Термины и определения. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 15 с.

9 ГОСТ Р 59475-2021. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Качество данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Перечень показателей качества данных дистанционного зондирования Земли из космоса, получаемых с космических аппаратов оптико-электронного наблюдения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. М.: Стандартинформ, 2021. 12 с.

10 Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.

11 Договор по открытому небу от 24 марта 1992 г.: ратифицирован ФЗ от 26 мая 2001 г. № 57-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=12&nd=203000487 (дата обращения: 15.09.2025).

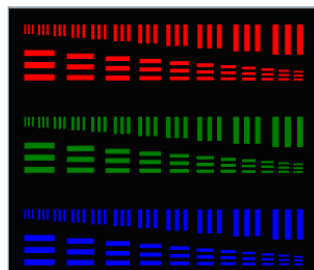
12 ГОСТ Р 59756-2021. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Качество данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Основные требования к наземным тестовым участкам для оценки качества данных дистанционного зондирования Земли из космоса, получаемых с космических аппаратов оптико-электронного наблюдения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с.

Рис. 6 

Трехкомпонентная ШМ
аддитивных цветовых
тонов RGB

Fig. 6

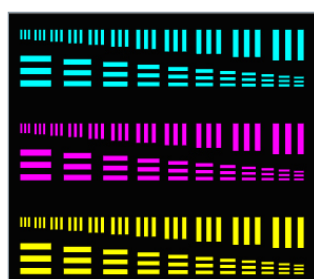
A three-component line test object
of additive color tones RGB

**Рис. 7** 

Трехкомпонентная ШМ
субтрактивных цветовых
тонов CMY

Fig. 7

A three-component line test object
of subtractive color tones CMY

**Рис. 8** 

Геометрические и яркостные
искажения при вращении тест-
объектов на углы 0°, 5°, 10°, 15°,
20°, 30°, 45°, 60°, 75°, 80°, 85°, 90°
относительно сторон пикселя

Fig. 8

Geometric and luminance
distortions when the test objects
are rotated by angles of 0°, 5°, 10°,
15°, 20°, 30°, 45°, 60°, 75°, 80°, 85°,
and 90° relative to the pixel sides

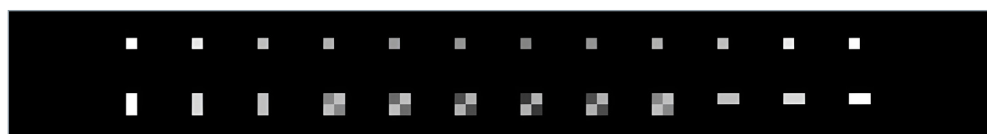
она поддерживает постоянное соотношение длины и ширины штрихов. Это важно, потому что наблюдается закономерность: если длина штрихов увеличивается по сравнению с их шириной, то показатель РС растет (а показатель ЛРМ, соответственно, уменьшается).

В отличие от определения РС, где лабораторные условия позволяют изменять как негативные, так и позитивные ШМ, для определения ЛРМ целесообразно использовать негативные ШМ. Это связано с тем, что значительные размеры ШМ на местности требуют учета влияния света, рассеянного поверхностью ШМ. Для минимизации такого рассеяния предпочтительнее использовать черный фон с нанесенными на него белыми штрихами, а не наоборот.

Для повышения точности проводимых измерений РС и ЛРМ отдельных цветовых каналов цифровых ОЭСН¹³ [10, 11] предложены ШМ цветовых аддитивных (R — красный, G — зеленый, B — синий) и субтрактивных (C — голубой, M — пурпурный, Y — желтый) тонов, которые имеют наборы групп штрихов соответствующего цвета на черном фоне (рис. 6, 7). За счет расположения полос красного, зеленого, синего, голубого, пурпурного и желтого цветов обеспечивается создание хроматического излучения с максимальным уровнем интенсивности цветовых тонов R, G, B и C, M, Y, которые соответствуют цветам используемых светофильтров в матричных фотоприемниках цифровых ОЭСН, что повышает точность воспроизведения эталонной цветовой картины для RGB- или CMY-каналов ОЭСН.

Применение ШМ с расположением штрихов под углом к сторонам кадра для оценивания РС и ЛРМ цифровых ОЭСН дает необъективный результат. В отличие от аналоговых ОЭСН с фотопленками (для которых характерна случайная дискретная зернистая структура), где такое расположение штрихов не оказывает существенного влияния, в цифровых ОЭСН с матричными фотоприемниками штрихи, проецируемые под разными углами к упорядоченному расположению светочувствительных элементов (пикселей), формируют искаженную картину, что не позволяет получить адекватные оценки РС и ЛРМ [8, 12].

Если взять контрольные тест-объекты, представляющие собой квадрат размером $a \times a$ и прямоугольник размером $a \times 2a$ белого цвета, расположенные на черном фоне, где a — размер проекции пикселя матричного фотоприемника ОЭСН на плоскости (земной поверхности), и произвести съемку с помощью ОЭСН этих объектов при разных их угловых положениях, то можно получить картину, наглядно показывающую геометрические и яркостные искажения цифровых изображений, которые характерны для случаев, когда на упорядоченную матричную структуру фотоприемника проецируются объекты под разными углами (рис. 8).



С изменением угла наклона тест-объектов от 0° до 90° относительно сторон пикселя матричного фотоприемника его яркость на изображении сначала уменьшается, достигая своего минимального значения при угле 45° (контраст снижается более чем в 2 раза), и далее, с увеличением угла до 90°, восстанавливается до исходных значений (рис. 9). Начиная с определенного угла наклона объекта относительно сторон пикселя (более 10°), увеличивается количество пикселей, формирующих изображение (рис. 8), что приводит к размытию изображения и может быть причиной слияния на изображении близко расположенных друг к другу мелких объектов (рис. 10).

13 Гук А.С., Беляев К.С. Особенности сведения каналов многоспектрального оптико-электронного комплекса // Авиация и космонавтика: тезисы 23-й Международной конференции. М.: Перо, 2024. С. 44–45.

Рис. 9 

Зависимость уровня серого тона в изображении тест-объектов от их углового положения относительно сторон пикселя

Fig. 9

The dependence of the gray level in the image on the angular position of the test-objects relative to the pixel sides

Условные обозначения

- тест-объект 1
- тест-объект 2

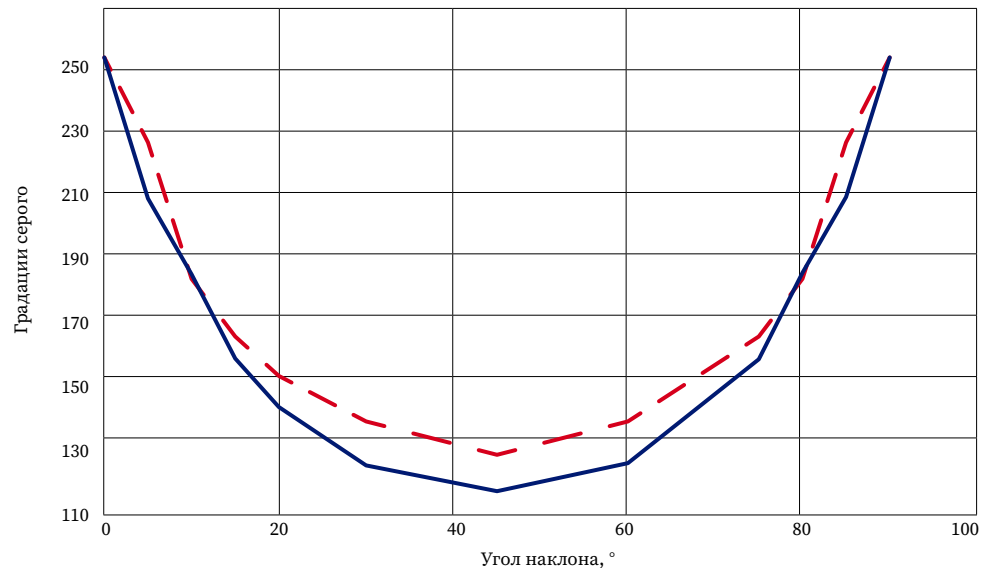
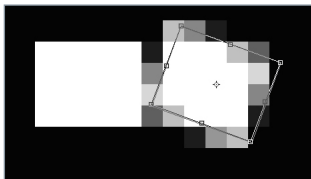


Рис. 10 

Изображение близко расположенных объектов, сориентированных под углами 0° и 20° к сторонам пикселя

Fig. 10

Image of closely spaced objects oriented at angles of 0° and 20° to the sides of the pixel



Основной операцией при определении РС и ЛРМ в процессе дешифрирования изображения ШМ является поиск операторами-дешифровщиками предельно различимой группы штрихов, для чего изображение ШМ рассматривают последовательно по мере возрастания частоты штрихов и определяют номер разрешенной группы. Главные трудности связаны с тем, что сложно точно установить, где заканчивается видимое различие между штрихом и промежутком.

Критерием предельно различимой группы является возможность посчитать, сколько в ней штрихов. Это означает, что нет необходимости в том, чтобы все предшествующие группы также были разрешены. Например, если при дешифрировании изображения ШМ, которая имеет 10 групп штрихов, оператор-дешифровщик различает группы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, но не может различить группу 7, то ошибочно устанавливать РС по группе 6 как по последней разрешенной в последовательности. Правильное решение о величине РС должно быть принято по группе 8 как предельно различимой.

Приведенная выше формулировка критерия разрешения (возможность сосчитать число штрихов) достаточно широкая, чтобы учесть возможные различия, но в то же время достаточно четкая, чтобы получать сопоставимые результаты при проведении испытаний различных ОЭСН. Попытки ужесточить формулировку, как это ни парадоксально, приводят к ухудшению воспроизводимости. Неоднократно предлагалось уточнить требования к качеству воспроизведения штрихов ШМ, например рассматривать как недопустимые перемычки между штрихами или нормировать их число. В некоторых методиках считается допустимым наличие одной перемычки в соотношении к длине штриха 1:5 для принятия положительного решения о различимости ШМ. К тому же их количество и протяженность могут меняться в зависимости от шумов и ФПМ системы. В результате вместо уточнения показателя появляются новые возможности для расхождений в оценках. Еще больше вариантов толкований дают формулировки вроде «четкое воспроизведение штрихов», «раздельное воспроизведение штрихов» и т. п. [13].

Таким образом, результаты определения РС (ЛРМ) случайным образом несколько изменяются от изображения к изображению, т. е. являются случайными величинами с некоторыми средними значениями и дисперсиями. Субъективность визуального метода дешифрирования также вносит элемент случайности. Случайный характер РС (ЛРМ) учитывается благодаря статистической обработке многократных результатов дешифрирования, исходя из того, что операторов-дешифровщиков должно быть не менее трех, изображений — не менее 20, а общее количество измерений РС (ЛРМ) определяется значением заданной доверительной вероятности:

$$N = 2/1 - P,$$

где N — количество визуальных оценок РС (ЛРМ) операторами-дешифровщиками;
 P — доверительная вероятность¹⁴.

Следует отметить, что точность определения РС и ЛРМ напрямую связана с шагом миры при переходе от группы к группе. Этот шаг, обычно составляющий 10 %, выбран не случайно. Он отражает погрешность, с которой опытный оператор может оценить РС и ЛРМ. Если бы шаг ШМ был меньше 10 % (например, 5 %), то в определенном эксперименте оператор-дешифровщик мог бы различить разницу между изображениями с частотами 200 и 210 мм⁻¹. Однако такая разница была бы ненадежной и не представляла бы серьезной ценности ни с точки зрения метрологических стандартов, ни с точки зрения практического применения результатов.

Внедрение технологий искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей, является ключевым направлением для снижения трудоемкости, субъективности и погрешностей оценивания РС и ЛРМ. Наиболее распространенными и эффективными архитектурами для распознавания изображений ШМ являются следующие нейронные сети [14–17]:

- сверточные (*англ.* Convolutional Neural Network, CNN), которые способны автоматически извлекать иерархические признаки из изображений, что делает их идеальными для анализа текстур, краев и форм, присущих ШМ (популярные архитектуры CNN, такие как ResNet, VGG, Inception, могут быть адаптированы для данной задачи);
- сегментационные (например, U-Net, Mask R-CNN), которые способны точно выделять отдельные штрихи ШМ, создавая маски для каждого пикселя и определяя его принадлежность к темному или светлому штриху.

4 Выводы

В результате проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Обоснованы аналитические выражения яркостного контраста объектов в зависимости от величин яркостей и закона распределения интенсивности излучения контрастирующих объектов.
2. Представлены основные требования к штриховым мирам, используемым для оценивания РС и ЛРМ авиационных ОЭСН. Обоснованы геометрические и цветовые характеристики штриховых мир.
3. Предложены трехкомпонентные штриховые миры аддитивных (RGB) и субтрактивных (СМУ) цветовых тонов, обеспечивающие повышение точности проводимых измерений РС и ЛРМ отдельных цветовых каналов цифровых ОЭСН.
4. Обоснована необходимость совершенствования нормативной базы, определяющей критерии ЛРМ, с целью устранения разночтений в способах определения ЛРМ авиационных ОЭСН и ОЭСН ДЗЗ из космоса. Предложено уточнить терминологию некоторых понятий, не имеющих однозначного и строгого толкования, а также сформировать единые требования к штриховым мирам, предназначенным для оценивания ЛРМ ОЭСН.
5. Описаны недостатки использования штриховых мир, имеющих расположение штрихов под различными углами, при квалиметрии цифровых ОЭСН. Экспериментально показаны и количественно оценены геометрические и яркостные искажения цифровых изображений, характерные для случаев, когда на упорядоченную матричную структуру фотоприемника цифровой ОЭСН проецируются объекты под разными углами.

¹⁴ Чаусов Е.В., Молчанов А.С., Волотов Е.М. и др. Цифровые оптико-электронные системы дистанционного зондирования Земли. Основы построения, испытаний и контроля: учеб. пособие. М.: Перо, 2023. 109 с.

6. Уточнено формальное описание признаков разрешаемости штриховых мир при их визуальном дешифрировании. Представлены области использования технологий искусственного интеллекта для распознавания изображений ШМ.

благодарности

Автор выражает благодарность профессору А.В. Богомолу за методические рекомендации и проявленное к работе внимание.

библиография

1. Шипко В.В., Пожар В.Э., Мачихин А.С. и др. Формирование контрастных полихроматических изображений заданных объектов на основе многооконной акустооптической фильтрации // Компьютерная оптика. 2024. Т. 48, № 2. С. 231–241. DOI:10.18287/2412-6179-CO-1320.
2. Шипунова К.В. Оценка контрастно-частотных характеристик телевизионных изображений // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIII Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Томск: ТУСУР, 2017. Ч. 1. С. 128–131.
3. Веселов Ю.Г., Данилин А.А., Тихоничев В.В. Выбор тест-объекта для оценки разрешающей способности цифровых оптико-электронных систем мониторинга земной поверхности // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 4. С. 1–24. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_18126578_93578164.pdf (дата обращения: 01.12.2025).
4. Фролов В.Н., Тупиков В.А., Павлова В.А. и др. Методы информационного совмещения изображений в многоканальных оптико-электронных системах // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. № 11-3. С. 95–104.
5. Сельвесюк Н.И., Веселов Ю.Г., Гайденов А.В. и др. Оценка характеристик обнаружения и распознавания объектов на изображении от специальных оптико-электронных систем наблюдения летного поля // Труды МАИ. 2018. № 103. С. 1–28. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_36951239_22375771.pdf (дата обращения: 01.12.2025).
6. Горбулин В.И., Ходор М.А. Методика распределения полей зрения средств наблюдения в зоне ответственности // Труды МАИ. 2018. № 100. С. 1–23. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_35268115_77268960.pdf (дата обращения: 01.12.2025).
7. Покотило С.А. Экспериментальная оценка качества оптико-электронных систем дистанционного зондирования // Техника радиосвязи. 2026. № 1 (68). С. 99–105.
8. Молчанов А.С. Способ пересчета линейного разрешения на местности оптико-электронных систем по штриховым мирам пониженного контраста // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67, № 3. С. 51–61. DOI:10.30533/GiA-2023-023.
9. Молчанов А.С., Тарасов В.В. Оценивание пространственно-частотных характеристик и показателей качества цифровых оптико-электронных систем при проведении авиационных летных экспериментов // Информация и космос. 2024. № 4. С. 118–125.
10. Южно П.М. Особенности обнаружения цветных объектов человеком в сравнении с техническими устройствами гиперспектрального типа // Оптический журнал. 2022. № 89 (7). С. 27–36. DOI:10.17586/1023-5086-2022-89-07-27-36.
11. Котляр П.Е., Потатуркин О.И. Современные методы и системы формирования гиперспектральных изображений // Автометрия. 2024. Т. 60, № 3. С. 55–73. DOI:10.15372/AUT20240306.
12. Hussain M., Chen D., Cheng A., et al. Change Detection from Remotely Sensed Images: From Pixel-Based to Object-Based Approaches // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2013. Vol. 80. P. 91–106. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006.
13. Jiang X., Ma J., Xiao G., et al. A Review of Multimodal Image Matching: Methods and Applications // Information Fusion. 2021. Vol. 73. P. 22–71. DOI:10.1016/j.inffus.2021.02.012.
14. Алексеенко Ю.В. Разработка системы распознавания изображений на основе сверточных нейронных сетей // Евразийский союз ученых. 2017. № 7-1 (40). С. 8–11.

15. Хелвех К., Кобозев А.А., Никоноров А.В. Оценка эффективности идентификации цели интеллектуальным тепловизионным прибором на основе предварительно обученной сверточной нейронной сети // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 4 (68). С. 84–93. DOI:10.21685/2072-3059-2023-4-8.
16. Jin H., Chen Y., Zuo F., et al. Zero-CSC: Low-Light Image Enhancement with Zero-Reference Color Self-Calibration // Journal of Visual Communication and Image Representation. 2024. Vol. 104. P. 104293. DOI:10.1016/j.jvcir.2024.104293.
17. Shao Y., Zhang X., Liao K., et al. Real-Time and Robust Visual Tracking with Scene-Perceptual Memory // Journal of Visual Communication and Image Representation. 2023. Vol. 93. P. 103825. DOI:10.1016/j.jvcir.2023.103825.

автор **Чаусов Евгений Викторович**

Государственный летно-испытательный центр им. В.П. Чкалова, Ахтубинск, Россия
канд. техн. наук

 0000-0002-6657-8038

Поступила 09.12.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Features of Using Line Test-Objects for Testing Aviation Optical and Electronic Surveillance Systems

Evgenij V. Chausov¹✉

¹ V.P. Chkalov State Flight Test Center, Akhtubinsk, Russia
✉ ewhenig@yandex.ru

citation Chausov EV. Features of Using Line Test-Objects for Testing Aviation Optical and Electronic Surveillance Systems. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 144–157. DOI:10.30533/GiA-2026-020.

keywords resolution, linear resolution on the ground, brightness contrast, pixel, visual interpretation

abstract Line test-objects are a key tool for evaluating the spatial resolution characteristics of optoelectronic surveillance systems. Despite the extensive regulatory and technical framework governing the methods and tools for measuring the resolution and linear resolution of optoelectronic systems on the ground, the selection of line test-objects remains an unresolved issue. The purpose of this study is to provide a comprehensive analysis of the features of line test-objects and to develop recommendations for their optimal selection and use, taking into account modern technical requirements and operational conditions. As part of the work, the main geometric parameters of the line test-objects were studied, including the shape, configuration of the elements, as well as their distribution and orientation. Special attention was paid to the contrast characteristics that affect the perception and resolution of images, as well as the colorimetric properties, which are becoming increasingly important due to the widespread use of digital systems that operate in color mode. As a result of the study, new three-component line test-objects were proposed, based on the additive color model RGB and the subtractive model CMY, which allows for a more comprehensive consideration of the color rendering and image perception of digital optoelectronic systems. The use of such color models contributes to the improvement of the accuracy and informativeness of measurements, and also expands the possibilities of visual deciphering of the received images. In addition, the work has refined the formal description of the features of the resolution of images of the line test-objects in their visual analysis, which allows to increase the objectivity and reproducibility of the test results.

acknowledgements The author expresses gratitude to Professor A.V. Bogomolov for his methodological recommendations and attention to the work.

references

1. Shipko VV, Pozhar VE, Machikhin AS, et al. Formirovanie kontrastnykh polikhromaticheskikh izobrazhenii zadannykh ob"ektov na osnove mnogookonnoi akustoopticheskoi fil'tratsii [Formation of Contrasting Polychromatic Object Images Based on Multi-Window Acousto-Optical Filtering]. *Computer Optics*. 2024;48(2): 231–241. (In Russian). DOI:10.18287/2412-6179-CO-1320.
2. Shipunova KV. Ocenka kontrastno-chastotnykh harakteristik televizionnykh izobrazhenii [Evaluation of Contrast-Frequency Characteristics of Television Images]. *Proceedings of the 13th International Scientific Conference on Electronic Devices and Control Systems*. In 2 parts. Part 1. Tomsk: TUSUR; 2017: 128–131. (In Russian).
3. Veselov YuG, Danilin AA, Tikhonychev VV. Vybór test-ob"ekta dlya otsenki razreshayushchei sposobnosti tsifrovyykh optiko-elektronnykh sistem monitoringa zemnoi poverkhnosti [Selection of a Test Object for Resolution Estimation of Digital Optoelectronic Systems Monitoring of the Earth Surface]. *Science and Education of the Bauman MSTU*. 2012;4: 1–23. (In Russian). Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_18126578_93578164.pdf (Accessed 1 December 2025).
4. Frolov VN, Tupikov VA, Pavlova VA, et al. Metody informatsionnogo sovmeshcheniya izobrazhenii v mnogokanal'nykh optiko-elektronnykh sistemakh [Informational Image Fusion Methods in Multichannel Optoelectronic Systems]. *Izvestiya TulGU. Technical Sciences*. 2016;11-3: 95–104. (In Russian).
5. Sel'vesyuk NI, Veselov YuG, Gaidenkov AV, et al. Otsenka kharakteristik obnaruzheniya i raspoznavaniya ob"ektov na izobrazhenii ot spetsial'nykh optiko-elektronnykh sistem nablyudeniya letnogo polya [Performance Evaluation of Objects Detection and Identification on an Image from Special Optoelectronic Systems for Airfield Observations]. *Trudy MAI*. 2018;103: 1–28. (In Russian). Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_36951239_37850015.pdf (Accessed 1 December 2025).
6. Gorbun VI, Khodor MA. Metodika raspredeleniya polei zreniya sredstv nablyudeniya v zone otvetstvennosti [Distribution Technique of Observation Facilities Fields of Vision in the Area of Responsibility]. *Trudy MAI*. 2018;100: 1–23. (In Russian). Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_35268115_77268960.pdf (Accessed 1 December 2025).
7. Pokotilo SA. Eksperimental'naya otsenka kachestva optiko-elektronnykh sistem dstantsionnogo zondirovaniya [Experimental Assessment of the Quality of Optoelectronic Remote Sensing Systems]. *Technology of Radio Communication*. 2026;1(68): 99–105 (In Russian).
8. Molchanov AS. Sposob perescheta linejnogo razresheniya na mestnosti optiko-elektronnykh sistem poshtrihovym miram ponizhennogo kontrasta [A Method for Recalculating the Linear Resolution on the Terrain of Optoelectronic Systems Based on Dashed Worlds of Reduced Contrast]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2023;67(3): 51–61. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2023-023.
9. Molchanov AS, Tarasov VV. Otsenivanie prostranstvenno-chastotnykh kharakteristik i pokazatelei kachestva tsifrovyykh optiko-elektronnykh sistem pri provedenii aviatsionnykh letnykh eksperimentov [Evaluation of Spatial-Frequency Characteristics and Quality Indicators of Digital Optical-Electronic Systems During Aviation Flight Experiments]. *Information and Space*. 2024;4: 118–125. (In Russian).
10. Yukhno PM. Osobennosti obnaruzheniya tsvetnykh ob"ektov chelovekom v sravnenii s tekhnicheskimi ustroystvami giperspektral'nogo tipa [Features of Colored Object Detection by a Person Compared with Using Hyperspectral Technology]. *Opticheskij Zhurnal*. 2022;89(7): 27–36. (In Russian). DOI:10.17586/1023-5086-2022-89-07-27-36.
11. Kotljars PE, Potaturkin OI. Sovremennyye metody i sistemy formirovaniya giperspektral'nykh izobrazhenii [Modern Methods and Systems of Formation of Hyperspectral Images]. *Avtometriya*. 2024;60(3): 55–73. (In Russian). DOI:10.15372/AUT20240306.
12. Hussain M, Chen D, Cheng A, et al. Change Detection from Remotely Sensed Images: From Pixel-Based to Object-Based Approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2013;80: 91–106. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006.
13. Jiang X, Ma J, Xiao G, et al. A Review of Multimodal Image Matching: Methods and Applications. *Information Fusion*. 2021;73: 22–71. DOI:10.1016/j.inffus.2021.02.012.
14. Alekseenko JuV. Razrabotka sistemy raspoznavaniya izobrazhenii na osnove svertochnykh neironnykh setei [Development of an Image Recognition System Based

- on Convolutional Neural Networks]. *Eurasian Union of Scientists*. 2017;7-1(40): 8–11. (In Russian).
15. Helveh K, Kobozev AA, Nikonorov AV. Otsenka effektivnosti identifikatsii tseli intellektual'nym teplovizionnym priborom na osnove predvaritel'no obuchennoi svertochnoi neironnoi seti [Evaluation of the Target Identification Effectiveness by an Intelligent Thermal Imaging Device Based on a Pre-Trained Convolutional Neural Network]. *University Proceedings. Volga Region. Technical Sciences*. 2023;4(68): 84–93. (In Russian). DOI:10.21685/2072-3059-2023-4-8.
 16. Jin H, Chen Y, Zuo F, et al. Zero-CSC: Low-Light Image Enhancement with Zero-Reference Color Self-Calibration. *Journal of Visual Communication and Image Representation*. 2024;104: 104293. DOI:10.1016/j.jvcir.2024.104293.
 17. Shao Y, Zhang X, Liao K, et al. Real-Time and Robust Visual Tracking with Scene-Perceptual Memory. *Journal of Visual Communication and Image Representation*. 2023;93: 103825. DOI:10.1016/j.jvcir.2023.103825.

author **Evgenij V. Chausov**

V.P. Chkalov State Flight Test Center, Akhtubinsk, Russia

PhD in Engineering

 0000-0002-6657-8038

Submitted: December 9, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.



65 лет Александру Михайловичу Луговскому

21 апреля 2026 года исполнилось 65 лет профессору кафедры географии Московского государственного университета геодезии и картографии Александру Михайловичу Луговскому.

Александр Михайлович прошел славный трудовой путь. Он начал работать в 1983 году в качестве учителя географии средней общеобразовательной школы № 45 г. Воронежа, где позже стал директором.

В 1988–2000 годах Александр Михайлович был заведующим кафедрой естественно-научных дисциплин в Воронежском областном институте повышения квалификации и переподготовки работников образования. В 1992 году он защитил кандидатскую диссертацию.

В 2000–2007 годах его трудовая деятельность была связана с кафедрой экологического образования Воронежского государственного педагогического университета. Именно здесь в 2004 году он написал и успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора географических наук.

В 2007–2010 годах А.М. Луговской работал деканом факультета экономики и управления Воронежского института экономики и социального управления. Затем до 2019 года его трудовая деятельность протекала в стенах Московского городского педагогического университета.

В 2019 году ученый стал профессором кафедры географии Московского государственного университета геодезии и картографии, где продолжает плодотворно трудиться. За это время он подготовил и опубликовал 3 учебника, которые используются при обучении студентов не только МИИГАиК, но и других университетов. А.М. Луговской является автором и соавтором 380 научных публикаций, оставаясь одним из наиболее продуктивных исследователей вуза, пользуется заслуженным уважением студентов и коллег, серьезно и ответственно относится к делу науки.

Сердечно поздравляем Александра Михайловича Луговского с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, благополучия и дальнейших успехов в работе!

