

ISSN 0536-101X  
e-ISSN 2618-7299

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ  
**ГЕОДЕЗИЯ**  
**И АЭРОФОТОСЪЕМКА**

Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying

**69 • 06 • 2025**

Научное издание Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК)  
Published by Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)

Научное издание Московского государственного университета  
геодезии и картографии (МИИГАиК)  
Published by Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)

# **Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка**

**Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying**

**69 • 06 • 2025**

Москва, Россия  
Moscow, Russia

# О журнале

<b>ПОЛНОЕ НАЗВАНИЕ</b>	Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка»
<b>СОКРАЩЕННОЕ НАЗВАНИЕ</b>	Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»
<b>СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ</b>	аэрокосмические исследования Земли, геодезия, геоинформатика, землеустройство, кадастр, картография, мониторинг земель, фотограмметрия, оптические и оптико- электронные приборы и комплексы
<b>ПЕРИОДИЧНОСТЬ</b>	6 выпусков в год
<b>ЯЗЫКИ</b>	русский, английский
<b>УЧРЕДИТЕЛЬ, ИЗДАТЕЛЬ</b>	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК)
<b>СТРАНА, ГОРОД</b>	Россия, Москва
<b>ГОД ОСНОВАНИЯ</b>	1957
<b>ISSN</b>	0536-101X
<b>E-ISSN</b>	2618-7299
<b>ВЕБ-САЙТ</b>	<a href="http://www.miigaik.ru/gia">www.miigaik.ru/gia</a>
<b>ПОДПИСКА</b>	подписной индекс в Каталоге — 70365 Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ
<b>ИНДЕКСИРОВАНИЕ</b>	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
<b>ЛИЦЕНЗИЯ</b>	материалы журнала распространяются в открытом доступе по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

# About the Journal

<b>FULL INTERNATIONAL TITLE</b>	Proceedings of Higher Education Institutions. Geodesy and Aerophotosurveying (Izvestiâ vysših učebnyh zavedenij. Geodeziâ i aèrofotos"emka)
<b>SHORT INTERNATIONAL TITLE</b>	Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying
<b>SUBJECT AREAS</b>	earth aerospace survey, geodesy, geoinformatics, land management, cadastre, cartography, land monitoring, photogrammetry, optical and optoelectronic devices and complexes
<b>FREQUENCY</b>	bimonthly (every two months)
<b>LANGUAGES</b>	Russian, English
<b>FOUNDED AND PUBLISHED BY</b>	Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)
<b>CITY, COUNTRY</b>	Moscow, Russia
<b>FOUNDED IN</b>	1957
<b>ISSN</b>	0536-101X
<b>E-ISSN</b>	2618-7299
<b>WEBSITE</b>	<a href="http://www.miigaik.ru/gia">www.miigaik.ru/gia</a>
<b>SUBSCRIPTION</b>	catalogue subscription number – 70365 (Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation)
<b>INDEXED IN</b>	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
<b>LICENSE</b>	the material is published on the basis of Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

# Редакционная коллегия

<b>ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР</b>	<b>Савиных Виктор Петрович</b>	академик РАН, д-р техн. наук, профессор; Россия
<b>ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА</b>	<b>Братков Виталий Викторович</b>	д-р геогр. наук; Россия
<b>ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ</b>	<b>Белоцерковский Андрей Владленович</b>	д-р физ.-мат. наук, профессор; Россия
	<b>Бондур Валерий Григорьевич</b>	академик РАН, д-р техн. наук, профессор; Россия
	<b>Верещака Тамара Васильевна</b>	д-р техн. наук, профессор; Россия
	<b>Хосе Хоакин Вилла Ортега</b>	канд. техн. наук; Колумбия
	<b>Гайрабеков Ибрагим Гиланиевич</b>	д-р техн. наук; Россия
	<b>Гвишиани Алексей Джерменович</b>	академик РАН, д-р физ.-мат. наук; Россия
	<b>Господинов Славейко</b>	д-р геодезии, профессор; Болгария
	<b>Денисенко Олег Валентинович</b>	д-р техн. наук; Россия
	<b>Журкин Игорь Георгиевич</b>	д-р техн. наук, профессор; Россия
	<b>Кресс Вольфганг</b>	д-р техн. наук, профессор; Германия
	<b>Малинников Василий Александрович</b>	д-р техн. наук, профессор; Россия
	<b>Мазурова Елена Михайловна</b>	д-р техн. наук; Россия
	<b>Нейман Юрий Михайлович</b>	д-р техн. наук, профессор; Россия
	<b>Непоклонов Виктор Борисович</b>	д-р техн. наук, профессор; Россия
	<b>Нехин Сергей Степанович</b>	д-р техн. наук; Россия
	<b>Оберст Петер Юрген</b>	д-р техн. наук, профессор; Германия
	<b>Пимшин Юрий Иванович</b>	д-р техн. наук, профессор; Россия
	<b>Райзман Юрий Григорьевич</b>	канд. техн. наук; Россия
	<b>Сизов Александр Павлович</b>	д-р техн. наук, профессор; Россия
	<b>Уставич Георгий Афанасьевич</b>	д-р техн. наук, профессор; Россия
	<b>Холота Петр</b>	д-р техн. наук; Чехия
	<b>Чибуничев Александр Григорьевич</b>	д-р техн. наук, профессор; Россия
	<b>Шух Гаральд</b>	д-р техн. наук, профессор; Германия
	<b>Яшкин Станислав Николаевич</b>	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.

**Подписано в печать 26.12.2025.**  
Гарнитура Source Serif Pro.  
Формат 60×90<sup>1/8</sup>.  
Бумага мелованная.  
Печать цифровая.  
Объем 23,75 усл. печ. л.  
Тираж 500 экз.  
Заказ № 12. 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

**Vasilij 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  
**Illustrations by:**  
Ekaterina D. Zhuravlyova  
**Layout design by:**  
Svetlana V. Ledneva

**Published on 26.12.2025.**  
Font Source Serif Pro.  
Format 60×90<sup>1</sup>/<sub>s</sub>.  
Coated paper.  
Digital print.  
23.75 printed sheet.  
500 copies. Order No. 12.

**Editorial Office**  
Department of Editorial  
and Publishing Activities  
and Scientometrics  
  
Printed by PrintSide  
printside.ru

<b>ГЕОДЕЗИЯ</b>	<b>Валов Г.Е., Вшивкова О.В.</b>	8
	Полевая апробация алгоритма определения коэффициента рефракции по градиентным геодезическим измерениям при одностороннем тригонометрическом нивелировании	
	<b>Казанцева В.В., Косарев Н.С.</b>	25
	Совершенствование методики геодезического мониторинга состояния земной поверхности и прибортовых массивов на основе данных беспилотных авиационных систем	
	<b>Алтынцев М.А.</b>	38
Технология создания цифровых моделей местности с применением метода наземного лазерного сканирования		
<b>АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ</b>	<b>Зарипова Ф.З., Князев А.Г., Кузнецов Э.Д.</b>	54
	Мониторинг деформаций аэровокзального комплекса на фундаментной плите без деформационных швов	
	<b>Жимагулов Д.К., Насеретдин Х.Х.</b>	67
Исследование комплексного использования традиционных и спутниковых технологий для передачи плановых координат на монтажный горизонт		
<b>АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ</b>	<b>Бекмурзаева Р.Х., Комиссаров А.В.</b>	78
	Оценка изменения внутритродовой температуры земной поверхности Макажойской котловины (Чеченская Республика) по данным дистанционного зондирования Земли	
<b>ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ</b>	<b>Зайцев В.В.</b>	87
	Описание объектов наблюдения в задачах планирования космической съемки	
	<b>Николаева О.Н., Валишин А.Б.</b>	100
Туристские карты-персоналии как средство развития историко-культурного туризма: предварительные соображения		
<b>ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ</b>	<b>Лоренс С.А., Руденко В.М., Челябинина О.И., Мархабатов Н.Д.</b>	111
	Геоинформационный подход к решению проблемы геометрически справедливого раздела дна Каспия между прикаспийскими государствами	
	<b>Крылов С.А., Правский Е.В.</b>	124
Методические основы автоматизированного создания карт промышленности		
<b>ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ</b>	<b>Беляков С.Л., Израилев Л.А.</b>	140
	Картографический анализ опасностей автомобильных маршрутов по набору данных об авариях на основе прецедентного подхода	
<b>ХРОНИКА</b>	<b>Бельшева Ю.В., Гвоздев О.Г., Матерухин А.В.</b>	157
	Элементы модели оценки качества получаемых геосенсорными сетями пространственно-временных данных об атмосферных явлениях	
<b>ХРОНИКА</b>	<b>Тасанова Ж.Б., Сизов А.П., Джигильдиева Ж.Г., Утегалиева Н.Х., Мухитов М.Г.</b>	168
	Оценка негативного воздействия на земли городских рекреационных территорий (на примере парка культуры и отдыха города Уральска)	
<b>ХРОНИКА</b>	<b>Каверин А.П.</b>	179
	Обоснование принципа построения высокоширотной гиростанции	
<b>ХРОНИКА</b>	<b>Юрий Исидорович Маркузе. 90 лет со дня рождения</b>	189

<b>GEODESY</b>	<b>Valov G.E., Vshivkova O.V.</b>	<b>8</b>
	Field Testing of Algorithm for Refraction Coefficient Determining from Gradient Geodetic Measurements for Unilateral Trigonometric Levelling	
	<b>Kazantseva V.V., Kosarev N.S.</b>	<b>25</b>
	Improving the Methodology of Geodetic Monitoring of the State of the Earth's Surface and Instrument Arrays Based on Data from Unmanned Aircraft Systems	
	<b>Altyntsev M.A.</b>	<b>38</b>
	Technology for Creating Digital Terrain Models Using Terrestrial Laser Scanning	
	<b>Zaripova F.Z., Knyazev A.G., Kuznetsov E.D.</b>	<b>54</b>
	Monitoring of Deformations of the Airport Complex on a Foundation Slab without Expansion Joints	
	<b>Zhimagulov D.K., Nasreddin H.H.</b>	<b>67</b>
	A Study of the Integrated Use of Traditional and Satellite Technologies for Transmitting Planned Coordinates to the Installation Horizon	
<b>EARTH AEROSPACE SURVEY, PHOTOGRAMMETRY</b>	<b>Bekmurzaeva R.Kh., Komissarov A.V.</b>	<b>78</b>
	Assessment of Changes in the Annual Temperature of the Earth's Surface in the Makazhoy Basin (Chechen Republic) Based on Remote Sensing Data	
	<b>Zaytsev V.V.</b>	<b>87</b>
	Description of Observation Objects in Space Survey Planning Tasks	
<b>GEOINFORMATICS, CARTOGRAPHY</b>	<b>Nikolaeva O.N., Valishin A.B.</b>	<b>100</b>
	Tourist Maps of Notable People as a Means of Developing Historical and Cultural Tourism: Preliminary Considerations	
	<b>Lawrence S.A., Rudenko V.M., Chelyapina O.I., Markhabatov N.D.</b>	<b>111</b>
	A Geoinformatics Approach to Solving the Problem of Geometrically Fair Division of the Caspian Seabed Between the Caspian States	
	<b>Krylov S.A., Pravsky E.V.</b>	<b>124</b>
	Methodological Foundations of Automated Creation of Industry Maps	
	<b>Belyakov S.L., Izrailev L.A.</b>	<b>140</b>
	Cartographic Analysis of Risks Associated with Automobile Routes Based on Data on Road Accidents Using Case-Based Reasoning	
	<b>Belysheva Yu.V., Gvozdev O.G., Materukhin A.V.</b>	<b>157</b>
	Elements of a Quality Assessment Model for Spatial and Temporal Data on Atmospheric Phenomena Obtained via Geosensor Networks	
<b>LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING</b>	<b>Tassanova Z.B., Sizov A.P., Dzhigildieva Z.G., Utegaliyeva N.Kh., Mukhitov M.G.</b>	<b>168</b>
	Assessment of the Negative Impact on the Lands of Urban Recreational Areas (Using the Example of the Uralsk Culture and Recreation Park)	
<b>OPTICAL AND OPTOELECTRONIC DEVICES AND SYSTEMS</b>	<b>Kaverin A.P.</b>	<b>179</b>
	Justification of the Principle for Constructing a High-Latitude Gyro Station	
<b>CHRONICLE</b>	<b>Yury Isidorovich Markuze: 90 Years since His Birth</b>	<b>189</b>



# Полевая апробация алгоритма определения коэффициента рефракции по градиентным геодезическим измерениям при одностороннем тригонометрическом нивелировании

**Г.Е. Валов<sup>1,2</sup>✉, О.В. Вшивкова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

✉ georgevalov@mail.ru

**ЦИТИРОВАНИЕ** Валов Г.Е., Вшивкова О.В. Полевая апробация алгоритма определения коэффициента рефракции по градиентным геодезическим измерениям при одностороннем тригонометрическом нивелировании // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 8–24. DOI:10.30533/GiA-2025-057.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** тригонометрическое нивелирование, коэффициент рефракции, градиентные геодезические измерения, стратификация атмосферы

**АННОТАЦИЯ** В работе представлена полевая апробация алгоритма определения коэффициента рефракции по градиентным геодезическим измерениям при одностороннем тригонометрическом нивелировании. Разработанный авторами алгоритм основан на решении по методу Монте-Карло системы нелинейных уравнений, описывающих изменение угла вертикальной рефракции в рабочем слое воздуха. Выполнен анализ факторов формирования вертикальной рефракции, подлежащих учету при производстве градиентных (на нескольких уровнях) геодезических измерений. Отмечено, что успешная реализация разработанного алгоритма возможна при условии однонаправленного характера изменения состояния атмосферы с высотой, т. е. в отсутствие слоев с разным характером атмосферной стратификации. На этапе подготовки полевых наблюдений разработаны методические приемы производства градиентных геодезических измерений, базирующиеся на анализе факторов формирования вертикальной рефракции, подлежащих учету при производстве градиентных геодезических измерений; предложена процедура угловых измерений на нескольких уровнях, обеспечивающая оперативность и точность получения исходных данных, необходимых для определения коэффициента рефракции. Выполненные полевые наблюдения и анализ полученных результатов показали возможность использования тенденции изменения приращений рефракции с высотой в качестве

объективного критерия обнаружения слоистости атмосферы в рабочем слое воздуха. Оценка точности превышений, исправленных за влияние рефракции с помощью разработанного авторами алгоритма, показала соответствие полученных результатов требованиям геометрического нивелирования IV класса.

## 1 Введение

Влияние вертикальной рефракции (ВР) — основной фактор, ограничивающий использование тригонометрического нивелирования в геодезическом производстве. Технические характеристики современных электронных тахеометров обеспечивают построение высотных сетей с точностью до II класса включительно [1]. Однако негативное влияние ВР может привести к погрешностям, недопустимым даже при техническом нивелировании. На сегодняшний день исследователями предложены десятки технологий, методик и алгоритмов учета и ослабления влияния ВР, среди них визуальные<sup>1,2</sup> и автоматизированные [2, 3] турбулентные методы; различные вариации метода двустороннего тригонометрического нивелирования<sup>3,4,5</sup> [4]; методы, основанные на теории подобия Монина — Обухова [5, 6]; методы геодезического базиса<sup>6</sup> и геодезической службы рефракции<sup>7</sup>; метод обратного преобразования (инверсии) коэффициента рефракции [7]; методики нивелирования из середины с учетом влияния ВР [8–16]. Однако все перечисленные методы обладают теми или иными недостатками.

В работе [17] авторами сформулированы критерии оценки методов учета и ослабления влияния ВР на результаты тригонометрического нивелирования, обеспечивающие возможность сравнительного анализа рассматриваемых методов: соответствие требуемой точности; время, затрачиваемое на производство полевых измерений и обработку полученных результатов; стоимость реализации; ограничения условий применения; требуемая квалификация исполнителей. В результате анализа перечисленных выше методов было показано, что ни один из них не удовлетворяет одновременно всем перечисленным критериям.

По мнению авторов, получить оптимальный баланс в соответствии вышеуказанным критериям можно при использовании технологии эффективного учета влияния приземного слоя атмосферы [18]. В основе данной технологии — «геодезическая» модель атмосферы и принцип определения параметров модели по градиентным геодезическим и (или) метеорологическим измерениям. Определение параметров модели по градиентным измерениям можно реализовать тремя способами: метеорологическим, комбинированным [19] и геодезическим. Метеорологический способ не отвечает оговоренным требованиям

- 
- 1 Brunner F.K. Geodetic Refraction: Effects of Electromagnetic Wave Propagation Trough the Atmosphere. Berlin: Springer, 1984. P. 216.
  - 2 Островский А.П., Суюнов А.С. Турбулентный метод учета вертикальной рефракции в условиях Средней Азии // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Львов: Изд-во при Львов. ун-те, 1989. Вып. 49. С. 112–120.
  - 3 Лазарев Е.Г. Тригонометрическое нивелирование и гравиметрические исследования в Антарктиде. М.: Наука, 1970. 75 с.
  - 4 Островская С.А. Учет вертикальной рефракции на основании взаимных и эквивалентных высот луча // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 1984. № 3. С. 51–60.
  - 5 Менухов И.И. О точности учета вертикальной рефракции по одновременно измеренным метеозлементам и зенитным расстояниям // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 1983. № 4. С. 48–52.
  - 6 Никольский Е.К. О сетях с рефракционными базисами // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Львов: Изд-во при Львов. ун-те, 1973. Вып. 18. С. 58–60.
  - 7 Островский А.Л., Джуман Б.М., Заблоцкий Ф.Д. и др. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения. М.: Недра, 1990. 235 с.

к точности (III и IV классы) [19]; комбинированный способ удобен в реализации и обеспечивает точность IV класса на дистанции до километра, однако для эффективной реализации метеорологической составляющей градиентных измерений необходим метеорологический градиентометр. Разработка данного прибора доведена авторами до стадии опытного образца, что затрудняет применение комбинированного способа, несмотря на простоту конструкции и низкую себестоимость комплектующих градиентометра. Геодезический способ заключается в определении всех параметров модели по результатам градиентных (на нескольких уровнях) измерений вертикальных углов. Предрасчет точности, выполненный в работе [17], показал, что геодезический способ обеспечивает точность IV класса на дистанции длиной до одного километра, при этом для его реализации необходимо только массово выпускаемое геодезическое оборудование. Кроме того, немаловажное достоинство геодезического способа определения параметров «геодезической» модели атмосферы заключается в том, что установленные по результатам угловых измерений значения параметров модели являются результирующими для всей трассы. Они сформированы всей совокупностью факторов, влияющих на величину ВР и представленных вдоль визирной линии. Последнее является существенным преимуществом геодезического способа перед комбинированным, поскольку не возникает погрешности, обусловленной неучетом изменения характера подстилающей поверхности (ПП) вдоль дистанции.

В работе [17] представлен разработанный авторами алгоритм определения коэффициента рефракции по результатам градиентных геодезических измерений, основанный на весовой реализации метода Монте-Карло. Исходными данными для работы алгоритма служат результаты измерений углов наклона / зенитных расстояний на четырех уровнях (высотах) визирной цели. Обязательным требованием к рабочему слою воздуха, в котором выполняют градиентные измерения, является отсутствие слоистости атмосферы. Параметры модели должны характеризовать состояние атмосферы на всех измерительных уровнях, включенных в математическую обработку.

Целью данной работы является полевая апробация алгоритма определения коэффициента рефракции по градиентным геодезическим измерениям [17].

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) составить перечень факторов формирования ВР, подлежащих учету при организации полевых градиентных геодезических измерений;
- 2) принимая во внимание сформированный перечень факторов, разработать методические приемы производства градиентных геодезических измерений;
- 3) подготовить процедуру производства угловых измерений на нескольких уровнях;
- 4) составить программу полевых работ при реализации геодезического способа определения параметров «геодезической» модели атмосферы;
- 5) выполнить полевые геодезические наблюдения и проанализировать полученные результаты с целью выявления объективного критерия обнаружения слоистости атмосферы в рабочем слое воздуха;
- 6) используя разработанный алгоритм, по результатам полевых наблюдений вычислить коэффициент рефракции и ввести поправку в измеренные превышения;
- 7) оценить точность исправленных превышений и сравнить результаты с точными превышениями, полученными методом геометрического нивелирования, и с превышениями, исправленными за стандартный коэффициент рефракции 0,14.

## 2 Материалы и методы

### 2.1 Анализ факторов формирования вертикальной рефракции

Для корректного решения второй задачи необходимо выделить факторы формирования местных (микромасштабных) полей ВР, подлежащие учету при производстве градиентных геодезических измерений.

Известно, что основным фактором формирования микроклимата в пограничном слое атмосферы является ПП<sup>8</sup>. В пограничном слое выделяют буферную зону, непосредственно прилегающую к ПП. Указанная зона получила название приземного слоя, особенностями которого являются мелкомасштабные турбулентность и конвекция (первая обусловлена шероховатостью ПП, вторая — неравномерностью нагрева ПП<sup>9</sup>). Днем мощность приземного слоя составляет несколько десятков метров, ночью — несколько метров, именно в этом слое производят подавляющее большинство линейно-угловых геодезических измерений.

По мере приближения к земной поверхности скорость ветра затухает, высота  $z_0$ , на которой скорость ветра равна нулю, называется высотой шероховатости. В слое шероховатости поступательное движение ветра гасится за счет молекулярного трения. Высота шероховатости зависит от масштаба неровностей ПП, характера растительного покрова, скорости ветра и стратификации атмосферы.

ПП является неоднородной. Вдоль визирного луча в общем случае меняются угол наклона ПП и ее ориентация относительно солнечных лучей и ветра; химический состав почвы и ее физическое состояние; характер растительного покрова и т. п. Совокупность указанных факторов можно объединить в одно понятие — тип ПП [18]. При переходе от одного типа ПП к другому меняются интенсивность теплообмена, высота шероховатости, вертикальный градиент показателя преломления, стратификация атмосферы, что неминуемо приводит к изменениям коэффициента рефракции вдоль визирной линии.

Геодезический способ обеспечивает определение результирующих для трассы параметров «геодезической» модели, сформированных всей совокупностью представленных типов ПП. Такой подход позволяет исключить тип ПП из числа факторов, подлежащих учету при составлении программы полевых наблюдений и разработке методических приемов их реализации.

Другим немаловажным фактором, влияющим на формирование поля ВР, является высота над ПП. Связь высоты с метеовеличинами и их градиентами можно описать показательными функциями<sup>10,11</sup>. Согласно Р. Гейгеру<sup>10</sup>, изменение значений метеовеличин  $S_z$  и их градиентов  $\partial S/\partial z$  с высотой  $z$  можно представить уравнениями вида

1   
2 

$$S_z = S_0 + az^b,$$

$$\partial S/\partial z = abz^{b-1},$$

где  $S_0$  — значение метеовеличины на исходной высоте, например 1 м;  
 $a$  — градиент метеовеличины на исходной высоте;  
 $b$  — коэффициент обмена.

8 Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя / пер. с англ. под ред. А.С. Дубова. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 360 с.

9 Несмелова Е.И., Филиппова М.Г. Микроклиматология: учеб. пособие. М.: МГУ, 2006. 186 с.

10 Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха / пер. с англ. И.М. Шейниса; под ред. и с предисл. С.А. Сапожниковой. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 485 с.

11 Лайхтман Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 341 с.

В «геодезической» модели атмосферы учет влияния высоты на формирование рефракционных характеристик осуществляется с помощью принципа учета влияния атмосферы без знания высоты визирного луча.

Распределение температуры в приземном слое воздуха зависит от стратификации атмосферы и в общем случае подчиняется логарифмическому закону. Влияние стратификации на тепловой поток может быть охарактеризовано числом Ричардсона ( $Ri$ ) и связано с профилем ветра формулой следующего вида<sup>12</sup>:

$$3 \quad Ri = \frac{g}{T_a} \times \frac{\partial T / \partial z}{(\partial U / \partial z)^2} \approx \frac{g}{T_a} \times \frac{\Delta T}{\Delta U^2},$$

где  $g$  — ускорение свободного падения;

$T_a$  — средняя температура приземного слоя;

$\partial T / \partial z$  и  $\partial U / \partial z$  — вертикальные градиенты температуры и скорости ветра.

Температурной стратификации, подчиняющейся логарифмическому закону, соответствуют малые значения числа Ричардсона ( $-0,008 \leq Ri \leq 0,02$ ). Чем больше число Ричардсона, тем больше температурная стратификация отличается от логарифмического закона. Подобные условия обычно наблюдаются в слое, не превышающем два метра от земной поверхности. Граница указанного слоя является точкой перегиба профиля температуры, выше которого температурная стратификация аппроксимируется функцией, близкой к логарифмической. Однако в ряде случаев, обусловленных в первую очередь наличием растительного покрова, точек перегиба профиля температуры может быть несколько. Это связано с тем, что формирование профиля температуры определяется профилем фитомассы. Наличие растительного покрова создает перегибы в атмосферной стратификации приземного слоя и в общем случае приподнимает высоту шероховатости. На основании этого можно сделать вывод, что *при наличии растительного покрова необходимо производить измерения выше высоты растительного покрова, являющейся уровнем перегиба атмосферной стратификации.*

Даже незначительная поросль существенно меняет физические свойства ПП в разрезе поглощения солнечной радиации, нагревания, охлаждения, а также испарения<sup>13</sup>. При достижении высоты в один метр растительный покров приобретает ряд особых микроклиматологических черт: замедление турбулентного движения, ослабление ветра, значительная влажность, умеренные температуры с максимумами на поверхности растительного покрова или чуть ниже (в зависимости от проникающей способности солнечной радиации). В ночное время сначала охлаждается поверхность растительного покрова, а затем охлажденный воздух опускается ниже, создавая минимум температуры на определенной высоте. Часто внутри растительного покрова присутствует несколько уровней перегиба атмосферной стратификации. Это связано с тем, что в непосредственной близости от поверхности находится зона турбулентных колебаний, обусловленная влиянием рельефа (чем больше орографические неровности, тем больше указанная зона), при этом при поднятии вступает в силу замедление турбулентного движения растительным покровом<sup>13</sup>. На основании вышесказанного можно сделать вывод, что *методические приемы выполнения градиентных геодезических измерений должны обеспечивать контроль уровней перегиба температурной стратификации, особенно на линиях, покрытых растительным покровом.*

## 2.2 Разработка методических приемов производства градиентных геодезических измерений

С опорой на представленный выше анализ факторов формирования ВР, известные закономерности ее изменений во времени и пространстве, специфические

<sup>12</sup> Несмелова Е.И., Филиппова М.Г. Микроклиматология: учеб. пособие. М.: МГУ, 2006. 186 с.

<sup>13</sup> Короткевич В.Н. Обзор работ по изучению микроклимата. Л.: Ред.-изд. отд. ЦУЕГМС. Ленингр. отд., 1936. 82 с.

требования к точности и организации градиентных измерений при реализации разработанного авторами алгоритма определения коэффициента рефракции [17] предлагаются следующие методические приемы производства градиентных геодезических измерений:

1. Визирная линия на нижнем уровне должна располагаться выше верхней границы растительности и уровня шероховатости, что позволит минимизировать вероятность возникновения точек перегиба вертикального профиля атмосферной стратификации и сократить их количество.
2. Количество измерительных уровней должно быть больше четырех, что обеспечит:
  - повышение точности моделирования коэффициента рефракции за счет наличия избыточных измерений;
  - контроль уровней перегиба стратификации атмосферы;
  - возможность формирования нескольких наборов уровней, включенных в обработку, в случае обнаружения точек перегиба вертикального профиля стратификации атмосферы.
3. При расчете количества приемов, с помощью которых осуществляется измерение вертикальных углов, следует учитывать технические характеристики используемого электронного тахеометра и требования к точности угловых измерений при реализации разработанного авторами алгоритма определения коэффициента рефракции.
4. Процедура производства угловых измерений на нескольких уровнях должна обеспечивать выполнение полного комплекса измерений в максимально сжатые сроки с целью уменьшения влияния временных изменений рефракции, которые могут быть значительными [20]. На каждом уровне в качестве визирной цели следует использовать закрепленные на вешке или рейке геодезические марки (отражательные пленки). Необходимо установить режим «Измерение углов», при котором электронный тахеометр выполняет отсчет практически мгновенно, т. к. не приходится ожидать прихода отраженного от призмы сигнала и его последующей обработки (в режиме «Точно» процесс линейных измерений может занять 5–6 секунд). Исполнитель осуществляет наведение на нижнюю визирную цель, измеряет вертикальный угол, после чего при том же круге, не открепляя закрепительные винты, вертикальным наводящим винтом производит наведение на следующую визирную цель. Для контроля временных изменений состояния атмосферы и уменьшения случайных погрешностей наведения измерения проводятся в прямом и обратном направлениях (от нижней марки к верхней и обратно). Указанные действия производятся вращением наводящего винта одной рукой и нажатием на кнопку измерения другой рукой, один полуприем на все измерительные уровни можно осуществить в течение нескольких десятков секунд. Аналогичные действия выполняются при другом положении вертикального круга. Таким образом производится один полный прием на все измерительные уровни.
5. Разность высот визирных целей должна удовлетворять следующим условиям:
  - приращения рефракции с высотой, которые используются для определения параметров модели, должны быть на порядок больше погрешности их определения;
  - необходимо обеспечить контроль точек перегиба.

Для удовлетворения первого условия следует увеличивать расстояние между визирными целями, выполнение второго условия связано с уменьшением разности высот визирных целей. Таким образом, речь идет об определении оптимальной разности высот визирных целей. Предварительные исследования в этом направлении выполнены в работе [19]. В статье [17] авторами показано, что при использовании двухсекундного электронного тахеометра на дистанции длиной один километр минимальная разность высот визирных целей составляет 0,5 м.

Изложенные выше методические приемы производства градиентных геодезических измерений обеспечивают повышение точности и оперативности производства геодезических измерений на нескольких уровнях и выполнение сформулированных в разделе 2.1 требований.

### 2.3 Составление программы полевых геодезических наблюдений при реализации геодезического способа определения параметров «геодезической» модели атмосферы

Программа полевых наблюдений при реализации геодезического способа определения параметров «геодезической» модели атмосферы включает следующие этапы:

1. В точке наблюдения устанавливается электронный тахеометр, инструмент приводится в рабочее положение, измеряется высота инструмента над пунктом.
2. На определяемый пункт устанавливается отражатель, на который осуществляется измерение горизонтального проложения  $D'$ .
3. На определяемом пункте устанавливается вежа или рейка с закрепленными на ней пятью (дополнительный уровень необходим для обеспечения избыточного количества измерений) геодезическими марками. Расстояния между марками измеряются рулеткой от нижней до каждой последующей перед установкой на определяемый пункт. Расстояния между марками должны удовлетворять условиям, оговоренным выше, и предварительно равны 50 см [19]. Нижняя визирная линия должна располагаться выше высоты шероховатости и растительного покрова.
4. Электронный тахеометр переводится в режим «Измерение углов», осуществляется измерение вертикальных углов в соответствии с описанной выше процедурой. Количество приемов подбирается из расчета обеспечения требуемой точности конкретным инструментом.

### 2.4 Описание эксперимента



**Рис. 1**   
Схема экспериментального полигона

**Fig. 1**  
Scheme of the test area

Для полевой апробации разработанного авторами алгоритма определения коэффициента рефракции и экспериментального обоснования методических приемов производства градиентных геодезических измерений был создан экспериментальный полигон на территории Заокского района Тульской области. Схема полигона представлена на рис. 1. Превышения между исходным пунктом Родник и определяемыми пунктами Речка, Костино, Швейцария измерены по программе геометрического нивелирования III класса.

Эксперимент проводился в июле – августе 2024 года. Исходный пункт Родник представляет собой столб принудительного центрирования, Костино – грунтовый репер, Речка и Швейцария – окопанные двухметровые куски арматуры. Превышения  $h_{geom}$ , полученные из геометрического нивелирования, и основные характеристики линий экспериментального полигона представлены в табл. 1. В четвертом столбце табл. 1 – среднеинтегральные высоты визирного луча  $z_{cp}$  над ПП.

В качестве визирной цели использовалась шашечная рейка с наклеенными светоотражательными

марками. Устойчивость рейки обеспечивал изготовленный из деревянных реек фиксированный «бипод». На пункте Речка разность высот визирных целей составляла 0,7 м, на двух других определяемых пунктах — 0,5 м. Высоты  $h_i$  визирных целей на рейках (расстояния от пятки рейки) измерялись рулеткой.

Продольные профили визирных линий представлены на рис. 2.

**Таблица 1** ➤

Основные характеристики линий экспериментального полигона

**Table 1**

Basic characteristics of the test area lines

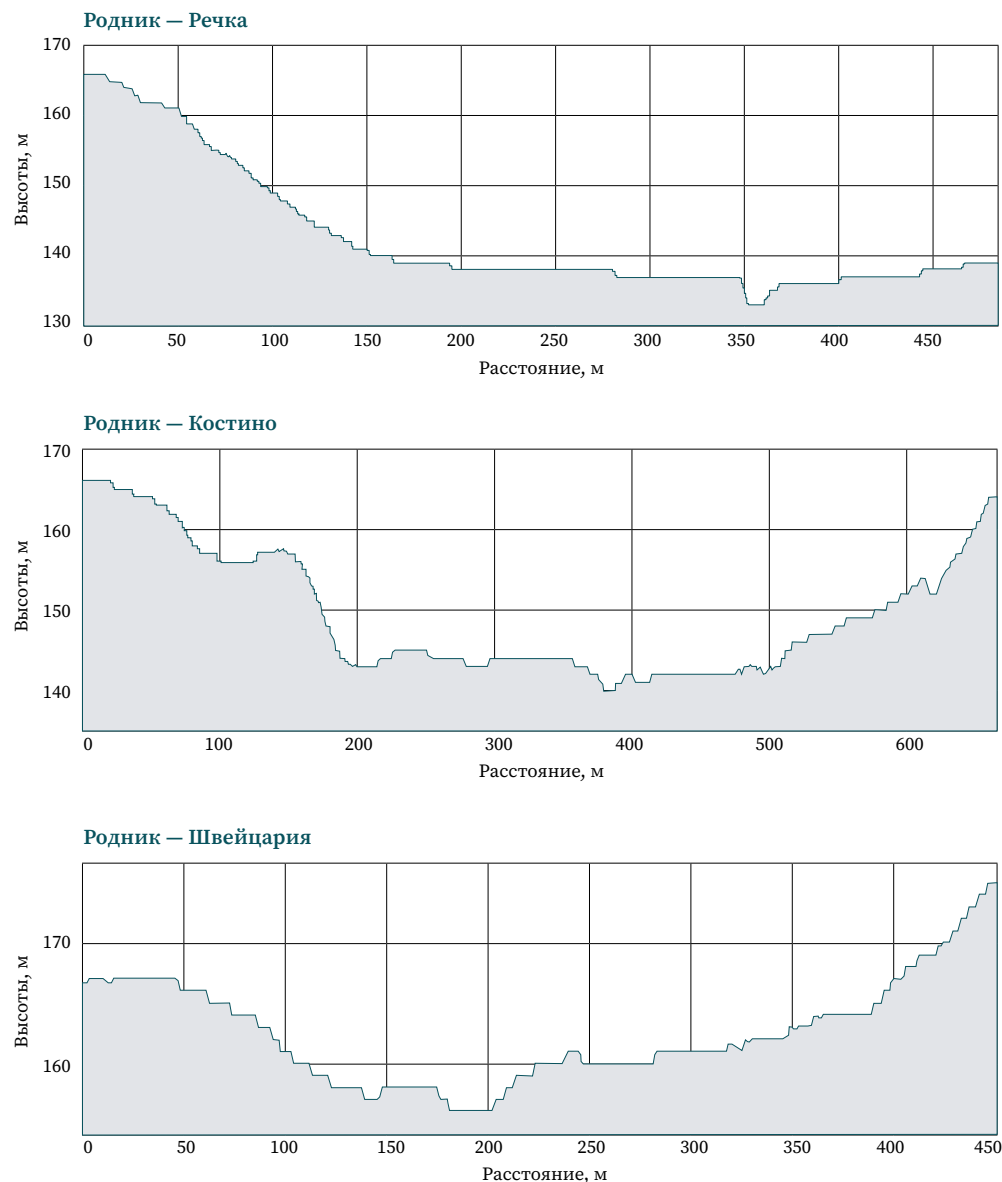
Визирная линия	$D'$ , м	$h_{geom}$ , м	$z_{ср}$ , м	Характеристика ПП
Родник — Речка	485,260	-28,9425	11,679	Полевая растительность высотой до 0,5 м. В конце трасса пересекает р. Скнигу
Родник — Костино	665,178	-3,3255	15,442	Полевая растительность высотой 1,0–1,5 м. В середине скопление древесной растительности (значительно ниже визирного луча). Почти половина трассы проходит вдоль р. Скнигу
Родник — Швейцария	452,039	7,6770	8,518	Полевая растительность высотой 1,0–1,5 м. В середине в непосредственной близости от визирной линии — лиственное дерево

**Рис. 2** ➤

Профили рельефа вдоль визирных линий

**Fig. 2**

Relief profiles along the sighting lines



Для измерений использовался электронный тахеометр SOUTH NTS-362R6 с точностью угловых измерений 2". Измерения на каждой визирной линии производились на пяти измерительных уровнях семью приемами по описанной выше процедуре. Для каждого уровня вычислялось среднее на период измерений превышение, поправка за рефракцию, автоматически вводимая электронным тахеометром, обнулялась.

Измеренные превышения были проанализированы на предмет соответствия точности IV класса. Далее в полученные превышения вводилась поправка за стандартный коэффициент рефракции (0,14) и повторно осуществлялся анализ точности, что позволило оценить эффективность использования стандартного коэффициента рефракции при одностороннем тригонометрическом нивелировании. После этого результаты градиентных геодезических измерений анализировались на предмет слоистости атмосферы, обусловленной наличием точек перегиба вертикального профиля стратификации атмосферы. В случае обнаружения слоистости результаты измерений, содержащие ее влияние, по возможности исключались. На основе градиентных геодезических измерений с помощью разработанного авторами алгоритма [17] определялся коэффициент рефракции. Смоделированное таким образом значение коэффициента рефракции использовалось для введения поправки в превышение, измеренное на нижнем измерительном уровне. Превышение, исправленное за влияние вертикальной рефракции, анализировалось на предмет соответствия точности геометрического нивелирования IV класса.

### 3 Результаты и обсуждение

Превышения между исходным и определяемыми пунктами  $h_{измер}$  вычислялись по формуле

$$h_{измер} = \bar{D} \cos \bar{z} + i - V + \frac{\bar{D}^2}{2R_{cp}},$$

где  $\bar{D}$  и  $\bar{z}$  — средние для приема значения наклонной дальности и зенитного расстояния;

$i$  — высота инструмента;

$V$  — высота визирной цели над определяемым пунктом;

$R_{cp}$  — средний радиус кривизны Земли.

Последнее слагаемое в формуле (4) представляет собой поправку за кривизну Земли.

**Таблица 2** Сравнение точности измеренных превышений и превышений, исправленных за стандартный коэффициент рефракции, с допустимой погрешностью нивелирования IV класса

Визирная линия	$S$ , м	$\Delta h_{пред}$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\Delta h_{k=0,14}$ , мм
Родник — Речка	485,260	9,6	4,8	2,2
Родник — Костино	665,178	13,4	27,2	22,4
Родник — Швейцария	452,039	9,0	17,7	15,5

**Table 2** Comparing of the accuracy of the measured elevation differences and the elevation differences, corrected for the standard refraction coefficient, with the maximum allowable error for the IV class levelling

Согласно данным табл. 2, на всех линиях, кроме Родник — Речка, истинные погрешности  $\Delta h$  измеренных превышений превысили допустимые для IV класса значения  $\Delta h_{пред}$ , равные удвоенным средним квадратическим погрешностям (СКП) (случайная СКП для IV класса — 10 мм/км<sup>14</sup>). Сравнительно малое влияние рефракции по линии Родник — Речка можно объяснить низкорослым растительным покровом и значительной высотой визирного луча вблизи прибора.

14 СТО НОПРИЗ И-002-2017. Инженерно-геодезические изыскания. Создание (развитие) опорных геодезических сетей методом геометрического нивелирования. Определение высот. М.: Национальное объединение изыскателей и проектировщиков, 2018. 55 с.

В превышения, полученные по формуле (4), вводилась поправка за стандартный коэффициент рефракции:

$$h_{k=0,14} = h_{измер} - 0,14 \frac{D^2}{2R_{cp}}$$

Для каждой линии отмечено повышение точности за счет использования стандартного коэффициента рефракции (табл. 2). Однако только на линии Родник – Речка погрешность  $\Delta h_{k=0,14}$  определения превышения, исправленного за стандартный коэффициент рефракции, удовлетворяет требованиям IV класса. На основании данных табл. 2 можно сделать вывод о необходимости учета влияния ВР и низкой эффективности использования поправки за стандартный коэффициент рефракции.

Для пяти измерительных уровней при наличии точек перегиба из обработки можно исключить лишь крайние уровни (первый или пятый), исключение оставшихся уровней лишено смысла, т. к. изменение угла рефракции в расчетном слое воздуха должно быть однонаправленным.

Выявление слоистости атмосферы предлагается выполнять на основании анализа характера изменения с высотой измеренных приращений угла рефракции  $\delta r_{i \rightarrow j}$  (приращение угла рефракции на текущем уровне  $j$  относительно исходного  $i$ ), вычисляемых по следующей формуле [17]:

$$\delta r_{i \rightarrow j} = (\Delta \nu_{i \rightarrow j})_{изм} - (\Delta \nu_{i \rightarrow j})_{теор},$$

где  $(\Delta \nu_{i \rightarrow j})_{изм}$  – разность измеренных углов наклона между исходным  $i$ -м и  $j$ -м уровнями;  $(\Delta \nu_{i \rightarrow j})_{теор}$  – теоретическая разность углов наклона:

$$(\Delta \nu_{i \rightarrow j})_{теор} = \frac{\Delta h_{i \rightarrow j} \rho^n}{D},$$

где  $\Delta h_{i \rightarrow j}$  – разности высот визирных целей на  $i$ -м и  $j$ -м уровнях.

Сделать вывод о наличии точек перегиба и необходимости исключения из обработки первого или последнего уровня позволяет анализ тенденции изменения приращений рефракции с высотой. Значения измеренных приращений угла рефракции по каждой визирной линии представлены в табл. 3.

**Таблица 3**

Измеренные приращения угла рефракции

**Table 3**

The measured increments of the refractive angle


Визирная линия	Уровни	$(\Delta \nu_{i \rightarrow j})_{теор}, "$	$(\Delta \nu_{i \rightarrow j})_{изм}, "$	$\delta r_{i \rightarrow j}, "$	
Родник – Речка	1	1-2	297,1	299,0	2,0
		1-3	594,4	594,1	-0,3
		1-4	891,5	890,0	-1,5
		1-5	1188,6	1187,5	-1,1
	2	2-3	297,3	295,1	-2,2
		2-4	594,4	591,0	-3,4
		2-5	891,6	888,5	-3,1
Родник – Костино	1	1-2	155,4	156,0	0,6
		1-3	310,1	312,9	2,8
		1-4	465,1	466,3	1,2
		1-5	620,5	620,6	0,1
	2	2-3	154,7	156,8	2,1
		2-4	309,7	310,3	0,6
		2-5	465,1	464,6	-0,5
Родник – Швейцария	1	1-2	228,3	227,5	-0,8
		1-3	456,2	459,0	2,8
		1-4	685,2	682,7	-2,5
		1-5	913,3	913,5	0,2
	2	2-3	227,9	231,5	-3,7
		2-4	456,9	455,2	1,6
		2-5	684,9	686,0	-1,1

Согласно данным табл. 3, на линии Родник — Речка общая тенденция уменьшения приращения рефракции с высотой несколько нарушается на четвертом измерительном уровне как для  $\delta r_{1 \rightarrow 4}$ , так и для  $\delta r_{2 \rightarrow 4}$ . Однако величина нарушения тенденции сопоставима с приборной СКП измерения разности измеренных углов наклона. В связи с этим было принято решение использовать полный набор градиентных измерений.

На линии Родник — Костино по величинам  $\delta r_{1 \rightarrow 2}$  и  $\delta r_{1 \rightarrow 3}$  обнаружен перелом атмосферной стратификации. При исключении первого уровня изменение знака приращения угла рефракции на остальных уровнях укладывается в тенденцию уменьшения приращения рефракции с высотой. На основании вышесказанного было принято решение исключить из обработки первый уровень.

На линии Родник — Швейцария обнаружено несколько изменений знака  $\delta r_{i \rightarrow j}$ . Они однозначно свидетельствуют о наличии слоистости, но исключение крайних уровней не приводит к улучшению результатов, т. к. существует несколько точек перегиба.

Таким образом, в данных условиях слоистость атмосферы была обнаружена на двух визирных линиях с наиболее развитым растительным покровом, что подтверждает сформулированные выше выводы о необходимости учета данного фактора. Для подтверждения корректности исключения измерений, содержащих влияние слоистости атмосферы, решение задачи на каждой визирной линии выполнено для всех сочетаний измерительных уровней. С этой целью по всем возможным наборам результатов градиентных геодезических измерений было осуществлено определение коэффициента рефракции по алгоритму, представленному в [17]. Результаты приведены в табл. 4.


**Таблица 4**  Определение коэффициента рефракции по результатам градиентных геодезических измерений

**Table 4**  
The refraction coefficient determination based on the results of gradient geodetic measurements

Визирная линия	Уровни	$grad\_n, 10^{-8}/м$	$m_{grad\_n}, 10^{-8}/м$	$k$	$m_k$
Родник — Речка	1-5	0,4	0,4	0,27	0,03
	2-5	9,1	1,5	0,58	0,10
	1-4	4,9	0,5	0,31	0,03
Родник — Костино	1-5	6,4	0,8	0,41	0,05
	2-5	11,2	2,3	0,71	0,15
	1-4	6,7	1,0	0,43	0,06
Родник — Швейцария	1-5	14,6	1,9	0,93	0,12
	2-5	15,7	2,3	1,00	0,15
	1-4	15,2	22	0,97	0,14

В табл. 4 представлены значения градиента показателя преломления  $grad\_n$ , коэффициента рефракции  $k$ , а также значения СКП градиента показателя преломления  $m_{grad\_n}$  и коэффициента рефракции  $m_k$  соответственно.

Далее с помощью смоделированных значений коэффициентов рефракции (табл. 4) по формуле (5) вводились поправки в результаты тригонометрического нивелирования. Сравнение исправленных за влияние ВР результатов одностороннего тригонометрического нивелирования  $h_k$  с допустимой погрешностью нивелирования IV класса приведено в табл. 5, которая дополнена последним столбцом, содержащим погрешности превышений, исправленных за стандартный коэффициент рефракции.

**Таблица 5**  Сравнение точности превышений, исправленных за определенный по алгоритму [17] коэффициент рефракции, с допустимой погрешностью нивелирования IV класса

**Table 5**  
Comparing of the accuracy of the elevation differences, corrected for the refraction coefficient determined by the algorithm [17], with the maximum allowable error for the IV class levelling

Визирная линия	Уровни	$S, м$	$\Delta h_{пред}, мм$	$\Delta h, мм$	$\Delta h_{k=0,14}, мм$
Родник — Речка	1-5	485,260	9,6	-0,3	2,2
	2-5	485,260		0,3	
	1-4	485,260		-0,9	
Родник — Костино	1-5	665,178	13,4	13,1	22,4
	2-5	665,178		4,5	
	1-4	665,178		12,3	
Родник — Швейцария	1-5	452,039	9,0	2,8	15,5
	2-5	452,039		0,1	
	1-4	452,039		2,1	

Данные табл. 5 свидетельствуют о следующем:

1. Во всех случаях использование значения коэффициента рефракции, смоделированного по разработанному авторами алгоритму [17], обеспечило точность одностороннего тригонометрического нивелирования, удовлетворяющую требованиям геометрического нивелирования IV класса.
2. Оптимальному сочетанию измерительных уровней, подобранному на основании анализа тенденции изменения приращения рефракции с высотой, соответствуют минимальные отклонения исправленных превышений от истинных значений, что подтверждает обоснованность использования изменений  $\delta r_{i \rightarrow j}$  с высотой для обнаружения слоистости атмосферы и подбора оптимального сочетания уровней, включаемых в обработку.
3. Во всех случаях погрешность превышений, исправленных за стандартный коэффициент рефракции, в несколько раз превышает погрешность, полученную при использовании предложенного авторами подхода.

## 4 Выводы

На основе результатов исследования можно сделать следующие выводы:

1. Выполненный анализ закономерностей формирования ВР позволил выявить факторы, подлежащие учету при организации полевых градиентных геодезических измерений, и сформулировать требования к расположению измерительных уровней.
2. Разработанные методические приемы производства градиентных геодезических измерений учитывают факторы формирования ВР и обеспечивают контроль точек перегиба вертикального профиля стратификации атмосферы.
3. Разработанная процедура производства угловых измерений на нескольких уровнях обеспечивает оперативность и точность получения исходных данных, необходимых для определения коэффициента рефракции.
4. Составленная программа полевых работ позволяет реализовать геодезический способ определения параметров «геодезической» модели атмосферы.
5. Полевые геодезические наблюдения и анализ полученных результатов показали возможность использования тенденции изменения приращений рефракции с высотой в качестве объективного критерия обнаружения слоистости атмосферы в рабочем слое воздуха.
6. Выполненная оценка точности превышений, исправленных за влияние рефракции с помощью разработанного авторами алгоритма, показала соответствие полученных результатов требованиям геометрического нивелирования IV класса.

### БЛАГОДАРНОСТИ


Авторы выражают признательность старшему преподавателю кафедры прикладной геодезии МИИГАиК А.В. Охотникову за помощь в проведении полевых геодезических работ и кандидату технических наук, доценту кафедры фотограмметрии МИИГАиК Т.Н. Скрыпицыной за предоставление цифровой модели рельефа территории экспериментального полигона.

### БИБЛИОГРАФИЯ



1. Гордеев В.А., Раева О.С. Сопоставление точности геометрического и тригонометрического нивелирования при создании маркшейдерских высотных сетей // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2014. № 6. С. 79–84.
2. Дементьев Д.В. Определение вертикальной рефракции в приземном слое атмосферы // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56, № 4. С. 482–488. DOI:10.31857/S0002351520020029.

3. Дементьев Д.В. Анализ турбулентных методов определения рефракции // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2020. Т. 64, № 1. С. 5–14. DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-1-5-14.
4. Baselga S., García-Asenjo L., Garrigues P. Practical Formulas for the Refraction Coefficient // Journal of Surveying Engineering. 2014. Vol. 140. Iss. 2. P. 1–5. DOI:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000124.
5. Мозжухин О.А. К анализу путей развития проблемы учета рефракции в нивелировании // Геодезия и картография. 2016. № 11. С. 16–19. DOI:10.22389/0016-7126-2016-917-11-16-19.
6. Мозжухин О.А. Рефракция в двустороннем тригонометрическом нивелировании. Определение поправок // Геодезия и картография. 2018. № 4. С. 8–13. DOI:10.22389/0016-7126-2018-934-4-8-13.
7. Shen Y., Huang T., Guo X., et al. Inversion Method of Atmospheric Refraction Coefficient based on Trigonometric Leveling Network // Journal of Surveying Engineering. 2016. Vol. 143. Iss. 1. P. 1–6. DOI:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000199.
8. Ceylan A., Baykal O. Precise Height Determination Using Leap-Frog Trigonometric Leveling // Journal of Surveying Engineering. 2006. Vol. 132. Iss. 3. P. 118–123. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9453(2006)132:3(118).
9. Han M., Liu M.H. Research on the Total Station Trigonometric Leveling Using Midway Method Replaces Three/Four Grade Leveling // Advanced Materials Research. 2014. Vols. 971–973. P. 1144–1147. DOI:10.4028/www.scientific.net/amr.971-973.1144.
10. Кошелев В.А., Карлин К.С., Чахлова А.П. Особенности развития геодезической разбивочной основы в условиях горной местности // Сборник материалов IX Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»: в 3 т. Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1, № 1. С. 87–92.
11. Кошелев В.А., Карлин К.С., Чахлова А.П. Инженерно-геодезическое сопровождение строительства канатных дорог // Сборник материалов X Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»: в 2 т. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. С. 111–116.
12. Михалев А.В. Оценка возможности использования тригонометрического нивелирования для производства высокоточных измерений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2013. Т. 12, № 8. С. 136–144.
13. Кудабаяев М.Д., Ногойбаева К.Б., Райымбек кызы Г. и др. Исследование возможностей высокоточного тригонометрического нивелирования из середины взамен технологии геометрического нивелирования для решения специальных задач в условиях Кыргызстана // Наука и инновационные технологии. 2018. № 3(8). С. 271–277.
14. Никонов А.В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины при визировании над разными подстилающими поверхностями // Вестник СГГА. 2013. № 3(23). С. 28–33.
15. Никонов А.В. Технологические схемы при проложении ходов тригонометрического нивелирования // Сборник материалов X Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»: в 2 т. Новосибирск: СГГА, 2014. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. С. 77–83.
16. Никонов А.В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2014. № 1. С. 28–34.
17. Валов Г.Е., Вшивкова О.В. Алгоритм определения коэффициента рефракции по градиентным геодезическим измерениям при одностороннем тригонометрическом нивелировании // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2024. Т. 9, № 4(38). С. 14–22. DOI:10.25744/genb.2024.28.99.002.
18. Вшивкова О.В. О рабочей «геодезической» модели атмосферы // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2005. № 5. С. 22–29.
19. Решетило С.Ю. Разработка комбинированной методики учета влияния вертикальной рефракции в электронной тахеометрии: дис. ... канд. техн. наук. М., 2021. 101 с.
20. Дементьев В.Е. Рефракция и миражи. М.: Галлея-Принт, 2009. 391 с.

**АВТОРЫ** **Валов Георгий Евгеньевич**

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия;  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра высшей геодезии, геодезический факультет  
 0009-0006-3431-1917

**Вшивкова Ольга Владимировна**

 ovsshivkova@miigaik.ru  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра высшей геодезии, геодезический факультет  
д-р техн. наук, доцент  
 0000-0002-0315-7201

Поступила 18.04.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# Field Testing of Algorithm for Refraction Coefficient Determining from Gradient Geodetic Measurements for Unilateral Trigonometric Levelling

Georgy E. Valov<sup>1,2</sup>✉, Olga V. Vshivkova<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ georgevalov@mail.ru

**CITATION** Valov GE, Vshivkova OV. Field Testing of Algorithm for Refraction Coefficient Determining from Gradient Geodetic Measurements for Unilateral Trigonometric Levelling. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 8–24. DOI:10.30533/GiA-2025-057.

**KEYWORDS** trigonometric levelling, refraction coefficient, gradient geodetic measurements, atmospheric stratification

**ABSTRACT** The article presents a field testing of an algorithm for refraction coefficient determining from gradient geodetic measurements for unilateral trigonometric levelling. The algorithm developed by the authors is based on solving by the Monte Carlo method a system of nonlinear equations describing the vertical refraction angle changing in the working air layer. The authors performed analysis of the factors of vertical refraction formation, which to be taken into account in the production of gradient (at several levels) geodetic measurements. It is noted that the successful implementation of the developed algorithm is possible under the condition of unidirectional changes in the vertical atmosphere profile, i. e. in the absence of layers with different atmospheric stratification character. At the stage of preparing field observations, first of all methodological approaches for the production of gradient geodetic measurements were developed. These approaches are based on the analysis of the factors of vertical refraction formation which to be taken into account. Besides a procedure for angular measurements at several levels was proposed. The proposed procedure ensures the efficiency and accuracy, which are necessary to obtain the initial data for the refraction coefficient determining. The performed field observations and the further analysis of the obtained results proved the possibility of using the trend of changes in the increment of the refraction angle with height as an objective criterion for detecting atmospheric stratification change in the working air layer. The accuracy evaluation of the elevation differences corrected for the refraction influence using the algorithm developed by the authors showed that the results obtained met the requirements of geometric levelling of class IV.

## ACKNOWLEDGEMENTS


The authors would like to thank A.V. Okhotnikov, Senior Lecturer of the Applied Geodesy Department of the Moscow State University of Geodesy and Cartography, for his assistance in conducting field geodetic work and T.N. Skrypitsyna, PhD, Associate Professor of the Photogrammetry Department of the Moscow State University of Geodesy and Cartography, for providing a digital elevation model of the test area.

## REFERENCES



1. Gordeev VA, Raeva OS. Sopostavlenie tochnosti geometricheskogo i trigonometricheskogo nivelirovaniya pri sozdanii marksheiderskikh vysotnykh setei [Comparison of Accuracy of Geometrical and Trigonometric Leveling when Creating Mine Surveying of High Networks]. *Minerals and Mining Engineering*. 2014;6: 79–84. (In Russian).
2. Dement'ev DV. Opredelenie vertikal'noi refraktsii v prizemnom sloe atmosfery [Determination of Vertical Refraction in the Atmospheric Boundary Layer]. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020;56(4): 482–488 (In Russian). DOI:10.31857/S0002351520020029.
3. Dement'ev DV. Analiz turbulentnykh metodov opredeleniya refraktsii [Analysis of Turbulent Methods for Determining the Refraction]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2020;64(1): 5–14. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-1-5-14.
4. Baselga S, García-Asenjo L, Garrigues P. Practical Formulas for the Refraction Coefficient. *Journal of Surveying Engineering*. 2014;140(2): 1–5. DOI:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000124.
5. Mozhukhin OA. K analizu putei razvitiya problemy ucheta refraktsii v nivelirovanii [On Analysis of the Ways of Development Issues on Accounting of Refraction in Leveling]. *Geodesy and Cartography*. 2016;11: 16–19. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2016-917-11-16-19.
6. Mozhukhin OA. Refraktsiya v dvustoronnem trigonometricheskom nivelirovanii. Opredelenie popravok [Refraction in Bilateral Trigonometric Leveling. Definition of Corrections]. *Geodesy and Cartography*. 2018;79(4): 8–13 (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2018-934-4-8-13.
7. Shen Y, Huang T, Guo X, et al. Inversion Method of Atmospheric Refraction Coefficient based on Trigonometric Leveling Network. *Journal of Surveying Engineering*. 2016;143(1): 1–6. DOI:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000199.
8. Ceylan A, Baykal O. Precise Height Determination Using Leap-Frog Trigonometric Leveling. *Journal of Surveying Engineering*. 2006;132(3): 118–123. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9453(2006)132:3(118).
9. Han M, Liu MH. Research on the Total Station Trigonometric Leveling Using Midway Method Replaces Three/Four Grade Leveling. *Advanced Materials Research*. 2014;971–973: 1144–1147. DOI:10.4028/www.scientific.net/amr.971-973.1144.
10. Koshelev VA, Karlin KS, Chakhlova AP. Osobennosti razvitiya geodezicheskoi razbivochnoi osnovy v usloviyakh gornoi mestnosti [Features of Development of the Building Network in the Conditions of Mountain District]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of IX International Scientific Congress*. In 3 vols. Novosibirsk: SSGA; 2013;1(1): 87–92. (In Russian).
11. Koshelev VA, Karlin KS, Chakhlova AP. Inzhenerno-geodezicheskoe soprovozhdenie stroitel'stva kanatnykh dorog [Engineering-Geodetic Support of Construction Ropeways]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of X International Scientific Congress*. In 2 vols. Novosibirsk: SSGA; 2014;1: 111–116. (In Russian).
12. Mikhalev AV. Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya trigonometricheskogo nivelirovaniya dlya proizvodstva vysokotochnykh izmerenii [Assessment of the Trigonometric Leveling Use for High-Precision Measurements]. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 2013;12(8): 136–144. (In Russian).
13. Kudabaev MD, Nogoibaeva KB, Raiymbek Kyzy G, et al. Issledovanie vozmozhnoitei vysokotochnogo trigonometricheskogo nivelirovaniya iz serediny vzamen tekhnologii geometricheskogo nivelirovaniya dlya resheniya spetsial'nykh zadach v usloviyakh Kyrgyzstana [The Study of Possibilities of High-Precision Trigonometric Leveling from the Middle Instead of the Technology of Geometric Leveling for Special Tasks in the Conditions of Kyrgyzstan]. *Science and Innovative Technologies*. 2018;8(3): 271–277. (In Russian).

14. Nikonov AV. Issledovanie tochnosti trigonometricheskogo nivelirovaniya sposobom iz serediny pri vizirovanii nad raznymi podstilayushchimi poverkhnostyami [Study of Accuracy in Trigonometric Leveling by Method “From the Middle” when Sighting over Different Underlying Surfaces]. *Vestnik SSGA*. 2013;3(23): 28–33. (In Russian).
15. Nikonov AV. Tekhnologicheskie skhemy pri prolozhenii khodov trigonometricheskogo nivelirovaniya [Technological Techniques of Trigonometric Height Traversing]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of X International Scientific Congress*. In 2 vols. Novosibirsk: SSGA;1: 2014: 77–83. (In Russian).
16. Nikonov AV. Issledovanie vliyaniya vertikal'noi refraktsii na rezul'taty trigonometricheskogo nivelirovaniya korotkimi luchami sposobom iz serediny [Investigation of the Effect of Vertical Refraction on the Results of Trigonometric Leveling by Short Beams by the Middle]. *Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2014;1: 28–34. (In Russian).
17. Valov GE, Vshivkova OV. Algoritm opredeleniya koehffitsienta refraktsii po gradientnym geodezicheskim izmereniyam pri odnostoronnem trigonometricheskom nivelirovanii [Algorithm for Refraction Coefficient Determining from Gradient Geodetic Measurements for Trigonometric Leveling]. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2024;38(4): 14–22. (In Russian). DOI:10.25744/genb.2024.28.99.002.
18. Vshivkova OV. O rabochei “geodezicheskoi” modeli atmosfery [About the Working “Geodetic” Model of the Atmosphere]. *Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2005;5: 22–29. (In Russian).
19. Reshetilo SYu. *Razrabotka kombinirovannoi metodiki ucheta vliyaniya vertikal'noi refraktsii v ehlektronnoi takheometrii* [Development of a Combined Methodology for Accounting for the Effect of Vertical Refraction in Electronic Total Station] [dissertation]. Moscow; 2021. 101 p. (In Russian).
20. Dement'ev VE. *Refraktsiya i mirazhi* [Refraction and Mirages]. Moscow: Galleya-Print; 2009. 391 p. (In Russian).

**AUTHORS** **Georgy E. Valov**

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;  
 Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
 Department of Higher Geodesy, Faculty of Geodesy  
 0009-0006-3431-1917

**Olga V. Vshivkova**

 ovshivkova@miigaik.ru  
 Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
 Department of Higher Geodesy, Faculty of Geodesy  
 Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor  
 0000-0002-0315-7201

Submitted: April 18, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Совершенствование методики геодезического мониторинга состояния земной поверхности и прибортовых массивов на основе данных беспилотных авиационных систем

**В.В. Казанцева<sup>1,2</sup>✉, Н.С. Косарев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Карагандинский государственный технический университет имени Абылкаса  
Сагинова, Караганда, Казахстан

✉ v.kazantceva@ktu.edu.kz

**ЦИТИРОВАНИЕ** Казанцева В.В., Косарев Н.С. Совершенствование методики геодезического мониторинга состояния земной поверхности и прибортовых массивов на основе данных беспилотных авиационных систем // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 25–37. DOI:10.30533/GiA-2025-058.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** геодезический мониторинг, беспилотная авиационная система, цифровая модель местности, опорные и контрольные точки, совмещение разновременных моделей, аэрофотосъемка, геопространственный анализ, коэффициент запаса устойчивости, тахеометрия, репроекционная ошибка

**АННОТАЦИЯ** В статье представлено совершенствование методики геодезического мониторинга состояния земной поверхности и прибортовых массивов открытых горных разработок на основе комплексного анализа геопространственных данных, полученных с использованием беспилотных авиационных систем (БАС). Исследование выполнено на примере угольного разреза Sherubai Komir, расположенного в Центральном Казахстане (Карагандинская область). Вместо ранее применявшейся практики с отдельной обработкой моделей и экспертной интерпретацией, а также традиционных геодезических наблюдений предложена воспроизводимая технологическая схема. Она интегрирует данные БАС с тахеометрическими и ГНСС-измерениями в единой системе координат и задает строгие правила совмещения разновременных моделей по контрольным точкам. Аэрофотосъемка с применением БАС и интеграцией координат контрольных точек позволила получить высокоточные цифровые модели местности с пространственным разрешением 2,7 см/пиксель. С помощью анализа многовременных моделей выявлены участки достоверных деформаций, определены направления смещений и геометрические трансформации массива;

посредством профильной параметризации (углы, ширина берм, линейные и угловые деформации) геометрические изменения были переведены в расчет устойчивости. На основе полученных данных сформулированы рекомендации по обеспечению устойчивости бортов (геометрическая корректировка, дренаж и иные инженерные мероприятия). Практическая реализация предложенной методики позволяет повысить эффективность геодезического мониторинга и снизить риски возникновения аварийных ситуаций при ведении открытых горных работ.

## 1 Введение

В последние десятилетия обеспечение устойчивости откосов уступов и бортов карьеров остается одной из ключевых задач горнодобывающей промышленности. Нарушение стабильности приводит к серьезным авариям, угрозам для персонала и значительным экономическим потерям. В этих условиях особенно актуальна разработка воспроизводимой комплексной методики геодезического мониторинга, сочетающей регулярные аэрофотосъемки, построение цифровых моделей местности (ЦММ) и аналитическую обработку геопространственных данных для прогнозирования состояния земной поверхности и прибортовых массивов карьеров [1, 2].

Современные технологии мониторинга состояния устойчивости прибортовых массивов открытых разработок базируются на использовании методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [3–5], обеспечивающих регулярное получение геопространственных данных о геометрических параметрах откосов уступов и бортов карьера. Внедрение беспилотных авиационных систем (БАС), оснащенных ГНСС-приемниками геодезического класса и высокоразрешающими фотограмметрическими сенсорами [6–8], существенно повышает оперативность инструментальных наблюдений [9, 10] и качество пространственного моделирования, позволяя организовать непрерывный мониторинг с оценкой пространственно-временной динамики деформационных процессов.

БАС обеспечивают высокую детализацию съемки [11] благодаря камерам высокого разрешения и технологиям высокоточного позиционирования, что позволяет выявлять малые смещения и геометрические трансформации массива. В отличие от традиционных геодезических методов, применение БАС дает возможность контролировать труднодоступные участки без риска для персонала [12–16], одновременно сокращая сроки и затраты. При этом классические инструментальные наблюдения остаются критичными для валидации и калибровки данных БАС, обеспечивая единую координатно-высотную основу контроля.

Несмотря на распространенность традиционных инструментальных съемок и методов ДЗЗ, их отдельное или фрагментарное применение порождает такие типичные ограничения, как дискретность контроля на протяженных бортах; неоднородность координатно-высотных систем и, как следствие, сложность сопоставления разновременных данных; высокая доля экспертной интерпретации при отсутствии формализованного порога достоверности деформаций; слабая связка геометрических изменений с расчетом коэффициента запаса устойчивости (КЗУ). Использование БАС без четких правил геодезической привязки снимков и совмещения разновременных моделей повышает вариативность результатов и риск ложноположительных / ложноотрицательных срабатываний. В ответ на эти вызовы в работе предлагается воспроизводимая технологическая схема, которая обеспечивает метрологическую увязку данных БАС через единую координатно-высотную основу с разделением опорных и контрольных точек и верификацией точности; делает возможным строгое совмещение разновременных моделей, что гарантирует сопоставимость результатов; переводит измеренные смещения и геометрические изменения в расчет КЗУ и адресные рекомендации по стабилизации откосов.

Целью исследования является совершенствование методики геодезического мониторинга состояния устойчивости прибортовых массивов на основе применения БАС [17, 18] и методов цифрового моделирования [19, 20], обеспечивающих своевременное выявление зон деформаций и формирование комплекса инженерных решений по их стабилизации.

## 2 Материалы и методы


Исследование состояния устойчивости прибортовых массивов по материалам аэрофотосъемки производилось на угольном разрезе Sherubai Komir, расположенном в Центральном Казахстане (рис. 1). С этой целью использовался квадрокоптер DJI Mavic 2 Pro PPK, оснащенный высокоточным мультисистемным и мультисистемным ГНСС-приемником [21] с поддержкой режима постобработки кинематических измерений (англ. Post Processing Kinematic, PPK). Применение данной платформы обеспечивает координирование центра проекции фотоснимков с точностью до 2–5 см по горизонтали и до 5–10 см по вертикали при последующей обработке (табл. 1).

Выполнены две серии измерений с интервалом в 7 месяцев. Полеты планировались по заранее составленному маршруту с учетом технологических требований к воспроизводимости (высота съемки, продольное / поперечное перекрытие, метеоусловия — для гарантированного достижения целевого GSD и качества связок).

**Рис. 1**   
Схема месторасположения угольного разреза Sherubai Komir

**Fig. 1**  
Sherubai Komir coal mine location map



**Таблица 1**   
Технические характеристики квадрокоптера DJI Mavic 2 Pro PPK

**Table 1**  
DJI Mavic 2 Pro PPK quadcopter specifications

Параметр	DJI Mavic 2 Pro PPK
Тип летательного аппарата	мультикоптер
Масса взлетная, г	907
Максимальное время полета, мин	до 31
Высота аэрофотосъемки, м	80–150
Камера	Hasselblad L1D-20c, CMOS 1"
Разрешение фотоснимка, Мп (пиксели)	20 (5472 × 3648)
Фокусное расстояние, мм	28
ГНСС-приемник	мультисистемный, режим PPK
Точность геопозиционирования, см	горизонтальная — до 2, вертикальная — до 5
Перекрытие снимков (продольное / поперечное), %	80 / 70

Перед началом выполнения полетов произведена закладка 13 опорных точек (*англ.* Ground Control Points, GCP), равномерно распределенных по площади съемки. Координаты опорных точек определялись в координатной системе отсчета WGS-84 с использованием геодезического приемника Leica GS16 в режиме дифференциальных измерений (RTK / PPK), обеспечивая точность позиционирования не более 2 см в плане и 3 см по высоте [22–24]. Площадь полета составляет 191,71 га, при этом маршруты спроектированы с обеспечением продольного и поперечного перекрытия снимков 80 и 70 % соответственно, а высота полета — 120 м, что обеспечивает получение аэрофотоснимков с разрешением 2,7 см/пиксель.

По завершении полевых работ осуществлялась выгрузка аэрофотоматериалов и навигационной информации, включая лог-файлы с данными ГНСС-навигации, зафиксированные в процессе полета. На первом этапе выполнялась проверка качества полученных изображений, включая верификацию резкости, экспозиции, наличия необходимых перекрытий и отсутствия дефектов. После подтверждения корректности исходных данных проводится постобработка кинематических ГНСС-измерений в режиме PPK, в результате чего уточняются координаты центра проекции каждого фотоснимка.

Дальнейшая обработка выполняется в программном комплексе Agisoft Metashape Professional [25]. Блок снимков уравнивается методом фототриангуляции по связкам с самокалибровкой камеры. В результате определены элементы внутреннего (координаты главной точки, фокусное расстояние, радиальная / децентрирующая дисторсия) и внешнего (координаты центров фотографирования и углы поворота) ориентирования снимков. Качество уравнивания контролировалось по опорным и контрольным точкам, для которых приведены RMSE\_X, RMSE\_Y, RMSE\_Z и средняя ошибка привязки снимков в пикселях. Вслед за уравниванием выполнена плотная реконструкция: построение плотного облака, последующее формирование цифровой модели рельефа (ЦМР) / ЦММ и ортофотоплана. После оптимизации структуры сцены по скорректированным данным генерировалось плотное облако точек, на основе которого строятся ЦММ и ЦМР, используемые на последующих этапах пространственного анализа.

Для оценки пространственно-временной динамики деформаций выполнялось совмещение ЦМР, полученных по двум эпохам аэрофотосъемки. Совмещение и анализ проводились в Maptek I-Site Studio со строгим совмещением по контрольным точкам, контролем остаточных смещений, единой маской и фильтрацией ошибочных элементов реконструкции. Для визуализации различий применялась цветовая дифференциация: данные ноября 2023 года отмечены красным, июня 2024 года — зеленым (рис. 2). По результатам совмещения определялись амплитуды смещений рельефа. Плотность триангуляции при формировании ЦМР составила  $\sim 20$  т/м<sup>2</sup>, что обеспечило детальную аппроксимацию поверхности массива и достоверность последующего анализа.

Ключевым элементом совершенствования является введение метрологического порога достоверности. Смещение считается значимым, только если его абсолютная величина больше трехкратной вертикальной среднеквадратической ошибки модели. Эту вертикальную ошибку определяют по результатам

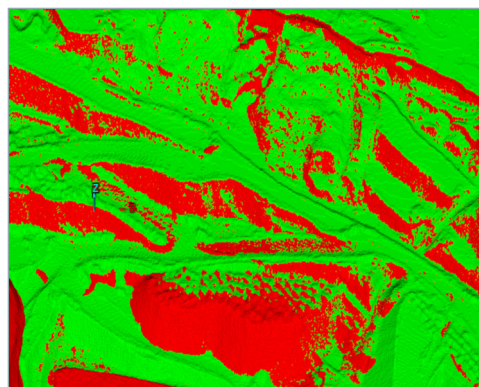
**Рис. 2** 

Совмещение двух серий ЦМР

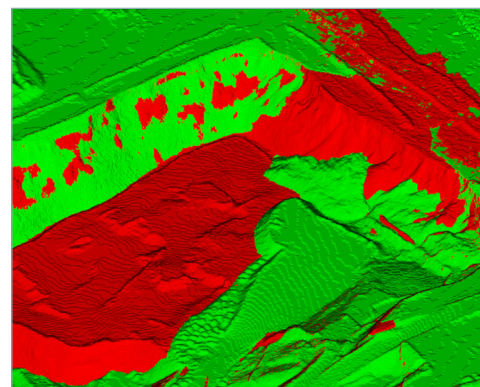
**Fig. 2**

Combining two series of aerial photography

Северный борт / North wall of the pit



Юго-западный борт / Southwestern wall of the pit



уровнивания и проверяют по контрольным точкам; она отражает реальную точность полученной цифровой модели по высоте. Порог, равный трем таким ошибкам, отсекает колебания, обусловленные шумом съемки, и оставляет лишь те изменения, которые с высокой вероятностью соответствуют реальным деформациям. Благодаря этому снижается доля субъективной интерпретации результатов, уменьшается число ложных срабатываний и пропусков, а решения по устойчивости принимаются на основе статистически обоснованных данных.

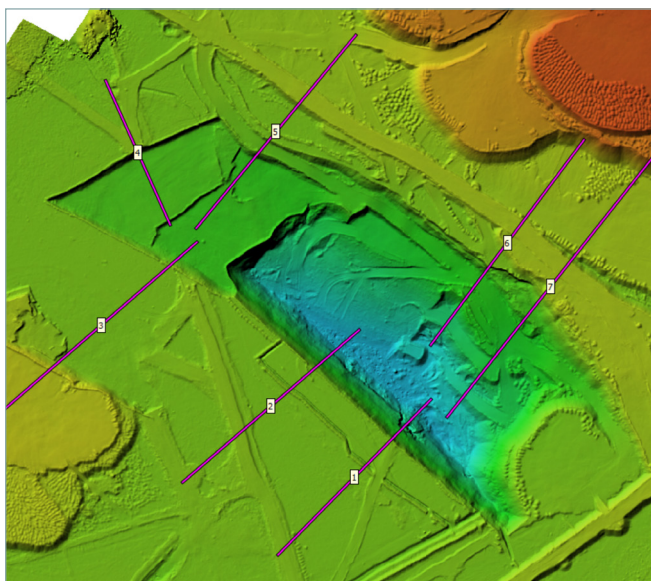
Полученные поля смещений использовались для построения профильных сечений и расчета КЗУ в специализированной программной среде. Инженерно-геотехнические требования реализуются за счет регламентированной профильной параметризации (углы откосов, ширина берм, линейные и угловые деформации) и перевода геометрических изменений в расчет КЗУ с последующей сверкой с проектными / нормативно-целевыми значениями и формированием адресных рекомендаций по стабилизации откосов.

Для более точного определения механизма деформирования были построены 7 вертикальных сечений (рис. 3), ориентированные перпендикулярно линии бортов карьера в местах, характеризующихся наибольшими деформациями, а также на участках, где наблюдаются признаки нестабильности массива, такие как смещение бровки откоса, образование трещин и осыпание пород. Дополнительно анализировались изменения границ уступов, ширины рабочих площадок и транспортных берм, что позволяет выявить отклонения от проектных параметров и определить зоны с наибольшей вероятностью возникновения обрушений.

Проведенный комплекс мероприятий по аэрофотосъемке позволяет получить детальную информацию о текущем состоянии устойчивости откосов карьера. На основе совмещенных ЦМР и построенных профильных сечений выполняется пространственно-временная оценка деформационных процессов.

**Рис. 3**   
Профильные линии  
на угольном разрезе

**Fig. 3**  
Profile lines at a coal mine




### 3 Результаты и обсуждение

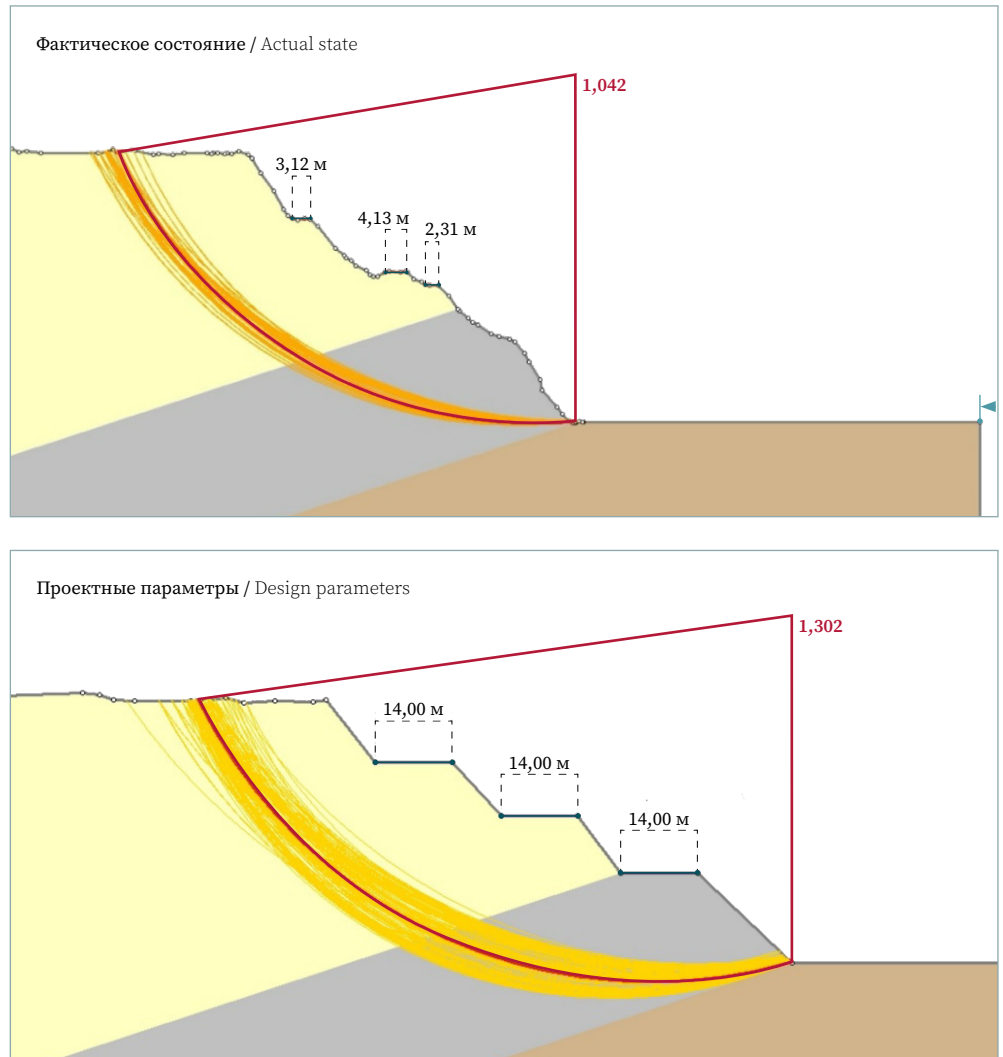
Для детальной оценки геометрических параметров прибортовых массивов профильные сечения формируются в программном обеспечении Agisoft Metashape Professional на участках, где зафиксированы наибольшие деформации, выявленные по результатам многовременного анализа ЦМР. С помощью инструмента «Измерение профиля» выполняется построение линейного сечения, которое экспортируется в векторном формате DXF для последующей обработки. При создании профилей обеспечивается интервал выборки точек вдоль линии сечения не более 0,5 м, что позволяет достичь высокой детализации геометрии откосов. Точность построения профилей соответствует точности исходной модели:  $\pm 5$  см по горизонтали и  $\pm 7$  см по вертикали при пространственном разрешении исходных аэрофотоснимков 2,7 см/пиксель. Импортированные в AutoCAD профили обрабатываются с применением модуля EasySurf, обеспечивающего построение поперечных сечений по каждому временному интервалу съемки. Геопривязка сечений осуществляется в единой системе координат WGS-84 с использованием ранее заложенных опорных точек (GCP). Сравнительный анализ профилей проводится путем совмещения линий сечений по совпадающим координатным точкам. В местах отклонений фиксируются линейные параметры деформаций — горизонтальные (точность измерения  $\pm 5$  см) и вертикальные (точность  $\pm 7$  см) смещения, а также угловые характеристики, включая изменения угла наклона откосов с точностью определения до  $0,5^\circ$ . Полученные

данные используются для оценки динамики деформационных процессов и расчета КЗУ бортов карьера.

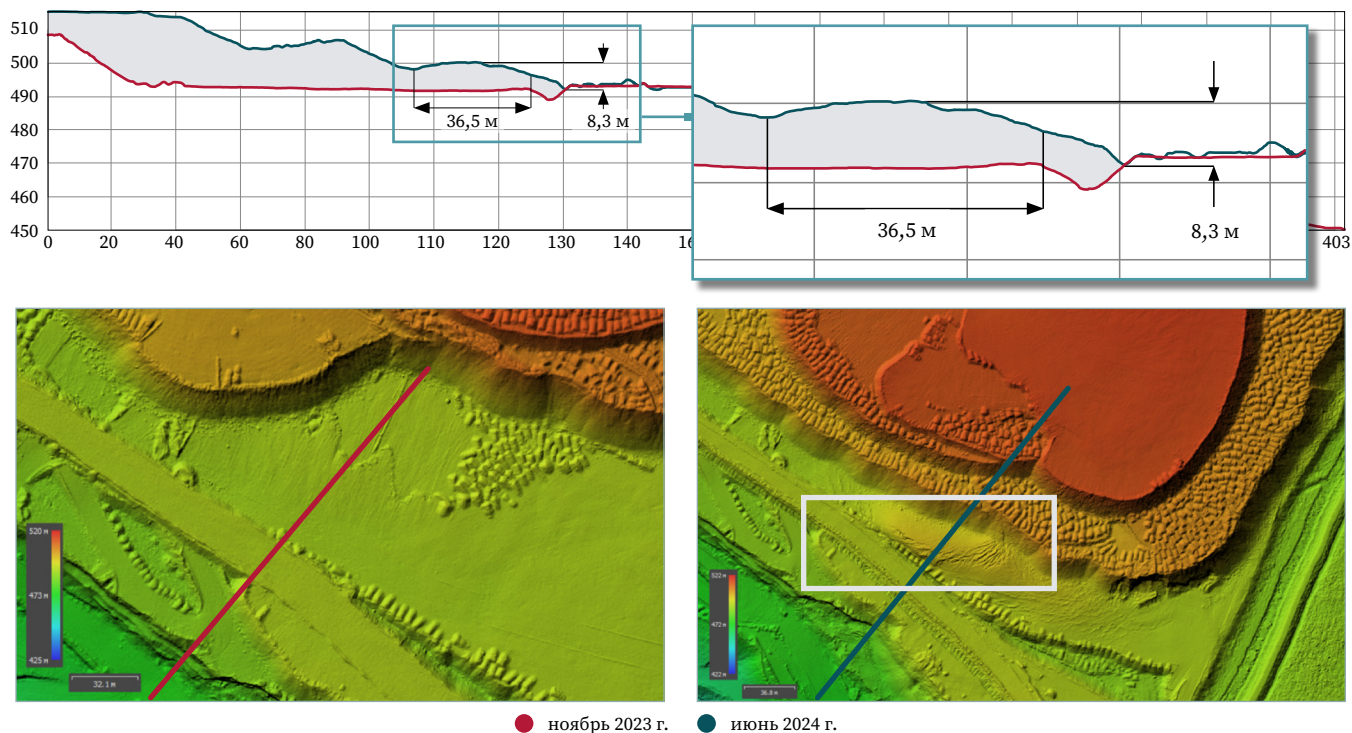
**На основании проведенного анализа сделаны следующие выводы:**

1. На юго-западном борту карьера по данным профилей 1–3 зафиксировано нарушение проектных параметров: угол наклона бортов превысил предельные 35–40°, что свидетельствует о высокой вероятности появления деформаций и обрушений. Проведенный анализ показал: этот участок находится в предельном состоянии с КЗУ около единицы (рис. 4), что требует срочного принятия мер по его стабилизации (КЗУ = 1,3). Установлено, что основными причинами нестабильности являются несоответствие проектным решениям и возможное влияние гидрогеологических факторов.

**Рис. 4**  Профильный разрез 2, расчет КЗУ  
**Fig. 4** Profile section No. 2, calculation of the safety factor



2. В центральной части карьера по профилям 4 и 5 выявлено изменение рельефа, однако оно связано с технологическими процессами ведения горных работ, а не с деформацией массива. При этом мониторинг данного участка следует продолжить, поскольку при нарушении технологии отработки могут возникнуть локальные обрушения уступов. В то же время проведенный анализ показал, что рассматриваемый участок на текущий момент не представляет серьезной угрозы устойчивости прибортового массива.
3. На северо-восточном борту карьера по данным профилей 6 и 7 выявлены значительные смещения массива. Выпор породы на горизонте +496 м достиг 8,3 м, а его горизонтальное проложение — 36,5 м (рис. 5).



**Рис. 5** ↑  
Профильный разрез 6, деформирование в виде оползня на горизонте +498 м

**Fig. 5**  
Profile section No. 6, landslide deformation at +498 m

Причинами деформаций приоткосного массива являются отсыпка породного отвала и увлажнение глинистого массива грунтовыми водами, что привело к значительному изменению рельефа и потенциальному снижению его устойчивости. Эти данные указывают на необходимость корректировки технологии ведения отсыпки с учетом физико-механических свойств отложенных пород.

Проведенный по данным БАС мониторинг позволил выявить участки с пониженным КЗУ. Понижение коэффициента обусловлено как техногенными воздействиями, связанными с нарушением проектных параметров разработки, так и природными факторами, включая неблагоприятные гидрогеологические условия.

Интеграция БАС с цифровыми методами обработки данных [26] обеспечивает комплексный подход к оценке устойчивости прибортовых массивов, что значительно повышает уровень безопасности горных работ и снижает вероятность аварийных ситуаций.

С учетом полученных результатов предложены следующие рекомендации, направленные на обеспечение устойчивости прибортовых массивов и минимизацию риска развития опасных геодинамических процессов:

- соблюдать проектные параметры уступов разреза (высота вскрышных не более 10 м, добычных — не более 7 м), ширину рабочих площадок, транспортных берм и берм безопасности (не менее 14 м), генеральные углы откосов бортов и ярусов отвала;
- не допускать обводнение массива и обеспечивать работу дренажной системы, следить за состоянием прибортовых канав, перепускных сооружений и зумпфов;
- осуществлять паспортизацию деформаций и продолжать систематические инструментальные наблюдения за состоянием устойчивости карьерных откосов в соответствии с методическими указаниями по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости<sup>1</sup>;

<sup>1</sup> Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости: согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от 22 сентября 2008 г. № 39. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://prg.kz/document/?doc\\_id=30399772](https://prg.kz/document/?doc_id=30399772) (дата обращения: 11.05.2025).

- выполнять аэрофотосъемки с интервалом 3–4 месяца, что позволит контролировать изменение рельефа и своевременно реагировать на потенциальные угрозы.

## 4 Выводы

В работе представлена усовершенствованная методика геодезического мониторинга прибортовых массивов на основе данных БАС. Совершенствование заключается в формализации полного цикла «съемка — геодезическая привязка — совмещение моделей по контрольным точкам — анализ — расчет устойчивости» и опирается на три группы требований:

- 1) требования к точности и контролю качества — единая координатно-высотная основа, а также введение порога достоверности по точности модели (смещение признается значимым лишь при превышении трехкратной вертикальной среднеквадратической ошибки модели), что снижает долю субъективной интерпретации;
- 2) геодезические и технологические требования — регламент параметров полетов (высота, перекрытия, целевой GSD), строгое совмещение моделей по контрольным точкам с контролем остаточных смещений;
- 3) инженерно-геотехнические требования — формализованная профильная параметризация (углы откосов, ширина берм, линейные и угловые деформации) и перевод измеренных геометрических изменений в расчет КЗУ с учетом проектных / нормативных целевых значений и факторов водонасыщения.

Анализ данных многовременной аэрофотосъемки, выполненной на угольном разрезе Sherubai Komir, позволил выявить зоны активных деформаций, определить их динамику и количественные характеристики. Установлено, что на юго-западном борту карьера наблюдается превышение предельных углов наклона откосов, что создает высокий риск обрушений. На северо-восточном борту зафиксированы значительные горизонтальные смещения и выпор породы, связанные с отсыпкой отвала. Таким образом, необходимо скорректировать технологию ведения горных работ и разработать мероприятия по стабилизации массива.

Практическая значимость усовершенствованной методики состоит в повышении воспроизводимости и сопоставимости результатов между эпохами наблюдений, снижении вероятности ложных срабатываний / пропусков и готовности к интеграции в автоматизированные контуры мониторинга предприятия. Регулярная аэрофотосъемка в сочетании с унифицированной обработкой и инженерной интерпретацией позволяет заблаговременно выявлять зоны риска, принимать превентивные решения и повышать безопасность ведения открытых горных работ.

Применение БАС в сочетании с современными методами цифрового моделирования позволяет провести детальный анализ устойчивости бортов карьера и выявить критические зоны, требующие повышенного контроля. Результаты исследования подтверждают высокую эффективность БАС в мониторинге горно-технических объектов, что делает данный метод перспективным для системного наблюдения за состоянием откосов. Регулярное проведение аэрофотосъемки и анализ геопространственных данных позволят своевременно выявлять потенциальные угрозы, разрабатывать превентивные меры и обеспечивать безопасность горных работ.


### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Косарев Н.С., Колесников А.А., Резник А.В. и др. Использование геопространственных данных для оценки состояния техногенно нарушенных земель // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2023. № 6. С. 190–197. DOI:10.15372/FTPRPI20230617.



2. Резник А.В., Колесников А.А., Косарев Н.С. и др. Получение и интерпретация геопространственных данных для построения мультимасштабной цифровой модели техногенно нарушенных территорий // Горный журнал. 2024. № 11. С. 90–95. DOI:10.17580/gzh.2024.11.14.
3. Нурпеисова М.Б., Битимбаев М.Ж., Рысбеков К.Б. и др. Геодезическое обоснование меднорудного района Сарыарка // Журнал НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2020. Т. 6, № 444. С. 194–202. DOI:10.32014/2020.2518-170X.147.
4. Ouyang Y., Feng T., Feng H., et al. Deformation Monitoring and Potential Risk Detection of In-Construction Dams Utilizing SBAS-InSAR Technology – A Case Study on the Datengxia Water Conservancy Hub // Water. 2024. Vol. 16. Iss. 7. P. 1025. DOI:10.3390/w16071025.
5. Nizametdinov F.K., Baryshnikov V.D., Oralbay A.O. Kentobe Pitwall Stability Estimation Using a Digital Geological-Geomechanical Model // Journal of Mining Science. 2022. Vol. 58. P. 896–902. DOI:10.1134/S1062739122060035.
6. Haske B., Rudolph T., Bernsdorf B., et al. Innovative Environmental Monitoring Methods Using Multispectral UAV and Satellite Data // First Break. 2024. Vol. 42. Iss. 2. P. 41–47. DOI:10.3997/1365-2397.fb2024012.
7. Gong C., Lei S., Bian Z., et al. Analysis of the Development of an Erosion Gully in an Open-Pit Coal Mine Dump During a Winter Freeze-Thaw Cycle by Using Low-Cost UAVs // Remote Sensing. 2019. Vol. 11. Iss. 11. P. 1356. DOI:10.3390/rs11111356.
8. Bouguettaya A., Zarzour H., Taberkit A.M., et al. A Review on Early Wildfire Detection from Unmanned Aerial Vehicles Using Deep Learning-Based Computer Vision Algorithms // Signal Processing. 2022. Vol. 190. P. 108309. DOI:10.1016/j.sigpro.2021.108309.
9. Исмагилов Р.И., Захаров А.Г., Бадтиев Б.П. и др. Внедрение беспилотных летательных аппаратов для оперативного решения научно-производственных задач в условиях Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева // Горная промышленность. 2020. № 3. С. 26–30. DOI:10.30686/1609-9192-2020-3-26-30.
10. Samaei M., Stothard P., Shirani Faradonbeh R., et al. Mine Closure Surveillance and Feasibility of UAV-AI-MR Technology: A Review Study // Minerals. 2024. Vol. 14. Iss. 1. P. 110. DOI:10.3390/min14010110.
11. Pathak D., Kumar D., Dubey A. Drone for Surveillance // Economic Sciences. 2024. Vol. 20. No. 1. P. 32–37. DOI:10.69889/aw746p03.
12. Shahmoradi J., Talebi E., Roghanchi P., et al. A Comprehensive Review of Applications of Drone Technology in the Mining Industry // Drones. 2020. Vol. 4. Iss. 3. P. 34. DOI:10.3390/drones4030034.
13. Salvini R., Mastrorocco G., Seddaiu M., et al. The Use of an Unmanned Aerial Vehicle for Fracture Mapping Within a Marble Quarry (Carrara, Italy): Photogrammetry and Discrete Fracture Network Modelling // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2017. Vol. 8. Iss. 1. P. 34–52. DOI:10.1080/19475705.2016.1199053.
14. Yilmaz T., Berkan B., Ece A., et al. Açık maden sahalarında kazı sonrası zemin değişiminin izlenmesinde İHA-tabanlı RTK/PPK yönteminin kullanımı: Düzce-Tatlıdere taş ocağı örneği // Ormancılık Araştırma Dergisi. 2022. Cilt 9. S. 76–85. DOI:10.17568/ogmoad.1093694.
15. Zhang H., Aldana-Jague E., Clapuyt F., et al. Evaluating the Potential of Post-Processing Kinematic (PPK) Georeferencing for UAV-Based Structure-From-Motion (SfM) Photogrammetry and Surface Change Detection // Earth Surface Dynamics. 2019. Vol. 7. Iss. 3. P. 807–827. DOI:10.5194/esurf-7-807-2019.
16. Taddia Y., Stecchi F., Pellegrinelli A. Coastal Mapping Using DJI Phantom 4 RTK in Post-Processing Kinematic Mode // Drones. 2020. Vol. 4. Iss. 2. P. 9. DOI:10.3390/drones4020009.
17. Lee E., Park S., Jang H., et al. Enhancement of Low-Cost UAV-Based Photogrammetric Point Cloud Using MMS Point Cloud and Oblique Images for 3D Urban Reconstruction // Measurement. 2024. Vol. 226. P. 114158. DOI:10.1016/j.measurement.2024.114158.
18. Carabassa V., Montero P., Crespo M., et al. Unmanned Aerial System Protocol for Quarry Restoration and Mineral Extraction Monitoring // Journal of Environmental Management. 2020. Vol. 270. P. 110717. DOI:10.1016/j.jenvman.2020.110717.

19. Famiglietti N.A., Cecere G., Grasso C., et al. A Test on the Potential of a Low Cost Unmanned Aerial Vehicle RTK/PPK Solution for Precision Positioning // *Sensors*. 2021. Vol. 21. Iss. 11. P. 3882. DOI:10.3390/s21113882.
20. Buzmakov S.A., Sannikov P.Y., Kuchin L.S., et al. The Use of Unmanned Aerial Photography for Interpreting the Technogenic Transformation of the Natural Environment During the Oilfield Operation // *Journal of Mining Institute*. 2023. Vol. 260. P. 180–193. DOI:10.31897/PMI.2023.22.
21. Vellemu E.C., Katonda V., Yapuwa H., et al. Using the Mavic 2 Pro Drone for Basic Water Quality Assessment // *Scientific African*. 2021. Vol. 14. P. e00979. DOI:10.1016/j.sciaf.2021.e00979.
22. Turner D., Lucieer A., de Jong S.M. Time Series Analysis of Landslide Dynamics Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) // *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7. Iss. 2. P. 1736–1757. DOI:10.3390/rs70201736.
23. Низаметдинов Ф.К., Низаметдинов Н.Ф., Низаметдинов Р.Ф. и др. Инструментальный контроль устойчивости рудного штабеля на участке кучного выщелачивания // *Горный журнал*. 2022. № 2. С. 19–22. DOI:10.17580/gzh.2022.02.03.
24. Golser J., Steiner W. International and European Standards for Geotechnical Monitoring and Instrumentation = Internationale und europäische Normen für geotechnische Überwachung und Instrumentierung // *Geomechanik und Tunnelbau*. 2021. Vol. 14. Iss. 1. P. 63–77. DOI:10.1002/geot.202000047.
25. Тихонов А.А., Акматов Д.Ж. Обзор программ для обработки данных аэрофотосъемки // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2018. № 12. С. 192–198. DOI:10.25018/0236-1493-2018-12-0-192-198.
26. Матюха С.В. Искусственный интеллект в беспилотных авиационных системах // *Транспортное дело в России*. 2022. № 1. С. 8–11. DOI:10.52375/20728689\_2022\_1\_8.

**АВТОРЫ Казанцева Виктория Владимировна**

Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
Новосибирск, Россия;  
Карагандинский государственный технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан  
кафедра маркшейдерского дела и геодезии, горный факультет  
 0000-0002-5915-1677

**Косарев Николай Сергеевич**

 kosarevnsk@yandex.ru  
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

Поступила 17.06.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# Improving the Methodology of Geodetic Monitoring of the State of the Earth's Surface and Instrument Arrays Based on Data from Unmanned Aircraft Systems

Viktoriya V. Kazantseva<sup>1,2</sup>✉, Nikolay S. Kosarev<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

✉ v.kazantseva@ktu.edu.kz

**CITATION** Kazantseva VV, Kosarev NS. Improving the Methodology of Geodetic Monitoring of the State of the Earth's Surface and Instrument Arrays Based on Data from Unmanned Aircraft Systems. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 25–37. DOI:10.30533/GiA-2025-058.

**KEYWORDS** geodetic monitoring, unmanned aircraft system, digital terrain model, reference and control points, combination of multi-time models, aerial photography, geospatial analysis, stability margin coefficient, total station, projection error


**ABSTRACT** The article presents the improvement of the methodology of geodetic monitoring of the state of the earth's surface and instrument arrays of open-pit mining on the basis of a comprehensive analysis of geospatial data obtained using unmanned aerial systems (UAS). The study was carried out using the example of the Sherubai Komir coal mine located in Central Kazakhstan, Karaganda region. In contrast to the previously applied practice with separate processing of models and expert interpretation, as well as traditional geodetic observations, a reproducible technological scheme is proposed. It integrates UAS data with total station and GNSS measurements in a single coordinate system and sets strict rules for combining multi-time models at control points. Aerial photography using UAS and integration of control point coordinates allowed us to obtain high-precision digital terrain models with a spatial resolution of 2.7 cm/pixel. The analysis of multi-time models revealed areas of significant deformations, determined the directions of displacements and geometric transformations of the array; profile parameterization (angles, berm widths, linear and angular deformations) made it possible to translate geometric changes into stability calculations. Based on the data obtained, recommendations are formulated to ensure the stability of the sides (geometric adjustment, drainage and other engineering measures). The practical implementation of the proposed methodology makes it possible to increase the efficiency of geodetic monitoring and reduce the risks of accidents during open-pit mining.

## REFERENCES



1. Kosarev NS, Kolesnikov AA, Reznik AV, et al. Ispol'zovanie geoprostranstvennyh dannyh dlja ocenki sostojanija tehnogenno narushennyh zemel' [The Use of Geospatial Data in the Industrially Disturbed Land Evaluation]. *Journal of Mining Science*. 2023;6: 190–197. (In Russian). DOI:10.15372/FTPRI20230617.
2. Reznik AV, Kolesnikov AA, Kosarev NS, et al. Poluchenie i interpretacija geoprostranstvennyh dannyh dlja postroenija mul'timasshtabnoj cifrovoj modeli tehnogenno narushennyh territorij [Obtaining and Interpreting Geospatial Data to Build a Multi-Scale Digital Model of Mining-Disturbed Areas]. *Gornyi Zhurnal*. 2024;11: 90–95. (In Russian). DOI:10.17580/gzh.2024.11.14.
3. Nurpeissova MB, Bitimbayev MZh, Rysbekov KB, et al. Geodezicheskoe obosnovanie mednorudnogo rajona Saryarka [Geodetic Substantiation of the Saryarka Copper Ore Region]. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2020;6(444): 194–202. (In Russian). DOI:10.32014/2020.2518-170X.147.
4. Ouyang Y, Feng T, Feng H, et al. Deformation Monitoring and Potential Risk Detection of In-Construction Dams Utilizing SBAS-InSAR Technology – A Case Study on the Datengxia Water Conservancy Hub. *Water*. 2024;16(7): 1025. DOI:10.3390/w16071025.
5. Nizametdinov FK, Baryshnikov VD, Oralbay AO. Kentobe Pitwall Stability Estimation Using a Digital Geological-Geomechanical Model. *Journal of Mining Science*. 2022;58: 896–902. DOI:10.1134/S1062739122060035.
6. Haske B, Rudolph T, Bernsdorf B, et al. Innovative Environmental Monitoring Meth-Ods Using Multispectral UAV and Satellite Data. *First Break*. 2024;42(2): 41–47. DOI:10.3997/1365-2397.fb2024012.
7. Gong C, Lei S, Bian Z, et al. Analysis of the Development of an Erosion Gully in an Open-Pit Coal Mine Dump During a Winter Freeze-Thaw Cycle by Using Low-Cost UAVs. *Remote Sensing*. 2019;11(11): 1356. DOI:10.3390/rs11111356.
8. Bouguettaya A, Zarzour H, Taberkit AM, et al. A Review on Early Wildfire Detection from Unmanned Aerial Vehicles Using Deep Learning-Based Computer Vision Algorithms. *Signal Processing*. 2022;190: 108309. DOI:10.1016/j.sigpro.2021.108309.
9. Ismagilov RI, Zaharov AG, Badtiev BP, et al. Vnedrenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlja operativnogo reshenija nauchno-proizvodstvennyh zadach v usloviyah Mihajlovskogo GOKa im. A.V. Varicheva [Implementation of Unmanned Aerial Vehicles for the Prompt Solution of Scientific and Production Problems in the Conditions of the Mikhailovsky Mining and Processing Plant Named after A.V. Varichev]. *Russian Mining Industry*. 2020;3: 26–30. (In Russian). DOI:10.30686/1609-9192-2020-3-26-30.
10. Samaei M, Stothard P, Shirani Faradonbeh R, et al. Mine Closure Surveillance and Feasibility of UAV-AI-MR Technology: A Review Study. *Minerals*. 2024;14(1): 110. DOI:10.3390/min14010110.
11. Pathak D, Kumar D, Dubey A. Drone for Surveillance. *Economic Sciences*. 2024;20(1): 32–37. DOI:10.69889/aw746p03.
12. Shahmoradi J, Talebi E, Roghanchi P, et al. A Comprehensive Review of Applications of Drone Technology in the Mining Industry. *Drones*. 2020;4(3): 34. DOI:10.3390/drones4030034.
13. Salvini R, Mastrorocco G, Seddaiu M, et al. The Use of an Unmanned Aerial Vehicle for Fracture Mapping Within a Marble Quarry (Carrara, Italy): Photogrammetry and Discrete Fracture Network Modelling. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2017;8(1): 34–52. DOI:10.1080/19475705.2016.1199053.
14. Yilmaz T, Berkan B, Ece A, et al. Açık maden sahalarında kazı sonrası zemin değişiminin izlenmesinde İHA-tabanlı RTK/PPK yönteminin kullanımı: Düzce-Tatlıdere taş ocağı örneği [Comparison of Unmanned Aerial Vehicle RTK/PPK Method in Monitoring the Quarry Surface Change]. *Ormançılık Araştırma Dergisi*. 2022;9: 76–85. (In Turkish). DOI:10.17568/ogmoad.1093694.
15. Zhang H, Aldana-Jague E, Clapuyt F, et al. Evaluating the Potential of Post-Processing Kinematic (PPK) Georeferencing for UAV-Based Structure-From-Motion (SfM) Photogrammetry and Surface Change Detection. *Earth Surface Dynamics*. 2019;7(3): 807–827. DOI:10.5194/esurf-7-807-2019.

16. Taddia Y, Stecchi F, Pellegrinelli A. Coastal Mapping Using DJI Phantom 4 RTK in Post-Processing Kinematic Mode. *Drones*. 2020;4(2): 9. DOI:10.3390/drones4020009.
17. Lee E, Park S, Jang H, et al. Enhancement of Low-Cost UAV-Based Photogrammetric Point Cloud Using MMS Point Cloud and Oblique Images for 3D Urban Reconstruction. *Measurement*. 2024;226: 114158. DOI:10.1016/j.measurement.2024.114158.
18. Carabassa V, Montero P, Crespo M, et al. Unmanned Aerial System Protocol for Quarry Restoration and Mineral Extraction Monitoring. *Journal of Environmental Management*. 2020;270: 110717. DOI:10.1016/j.jenvman.2020.110717.
19. Famiglietti NA, Cecere G, Grasso C, et al. A Test on the Potential of a Low Cost Unmanned Aerial Vehicle RTK/PPK Solution for Precision Positioning. *Sensors*. 2021;21(11): 3882. DOI:10.3390/s21113882.
20. Buzmakov SA, Sannikov PY, Kuchin LS, et al. The Use of Unmanned Aerial Photography for Interpreting the Technogenic Transformation of the Natural Environment During the Oilfield Operation. *Journal of Mining Institute*. 2023;260: 180–193. DOI:10.31897/PMI.2023.22.
21. Vellemu EC, Katonda V, Yapuwa H, et al. Using the Mavic 2 Pro Drone for Basic Water Quality Assessment. *Scientific African*. 2021;14: e00979. DOI:10.1016/j.sciaf.2021.e00979.
22. Turner D, Lucieer A, de Jong SM. Time Series Analysis of Landslide Dynamics Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Remote Sensing*. 2015;7(2): 1736–1757. DOI:10.3390/rs70201736.
23. Nizametdinov FK, Nizametdinov NF, Nizametdinov RF, et al. Instrumental'nyj kontrol' ustojchivosti rudnogo shtabelja na uchastke kuchnogo vywelachivanija [Instrumental Monitoring of Ore Stockpile Stability in Heap Leaching Area]. *Gornyi Zhurnal*. 2022;2: 19–22. (In Russian). DOI:10.17580/gzh.2022.02.03.
24. Golser J, Steiner W. International and European Standards for Geotechnical Monitoring and Instrumentation. *Geomechanik und Tunnelbau*. 2021;14(1): 63–77. DOI:10.1002/geot.202000047.
25. Tikhonov AA, Akmatov DZh. Obzor programm dlja obrabotki dannyh ajerofotos#emki [Review of Programs for Processing Aerial Photography Data]. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2018;12: 192–198. (In Russian). DOI:10.25018/0236-1493-2018-12-0-192-198.
26. Matyukha SV. Iskusstvennyj intellekt v bespilotnyh aviacionnyh sistemah [Artificial Intelligence in Unmanned Aircraft Systems]. *Transport Business in Russia*. 2022;1: 8–11. (In Russian). DOI:10.52375/20728689\_2022\_1\_8.

**AUTHORS** **Viktoriya V. Kazantseva**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia;  
 Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan  
 Department of Mine Surveying and Geodesy, Mining Faculty  
 0000-0002-5915-1677

**Nikolay S. Kosarev**

 kosarevnsk@yandex.ru  
 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

Submitted: June 17, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Технология создания цифровых моделей местности с применением метода наземного лазерного сканирования

**М.А. Алтынцев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
Новосибирск, Россия

mnbcv@mail.ru

**ЦИТИРОВАНИЕ** Алтынцев М.А. Технология создания цифровых моделей местности с применением метода наземного лазерного сканирования // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 38–53. DOI:10.30533/GiA-2025-065.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** цифровая модель местности, наземное лазерное сканирование, предварительная обработка, уравнивание, фильтрация

**АННОТАЦИЯ** Представлена технология создания цифровых моделей местности по данным наземного лазерного сканирования, охватывающая все этапы сбора и обработки данных. Отличием предложенной технологии от существующих является комплексный учет таких факторов, как погодные условия сбора данных, уровень застроенности территории, ее протяженность и площадь, а также предоставление рекомендаций по выбору методик трехмерного моделирования в зависимости от требований к формату векторных моделей и особенностей современного программного обеспечения. С целью повышения качества обработки данных в состав технологии включен универсальный алгоритм фильтрации. Разработанный алгоритм позволяет распознавать ложные точки в массиве данных и выделять точки поверхности земли для построения цифровой модели рельефа. Технология апробирована в ходе съемки территории дожимной насосной станции одного из нефтегазовых месторождений и в процессе обработки полученных материалов. Представленные результаты оценки точности уравнивания данных наземного лазерного сканирования подтвердили оптимальность отраженных в технологии этапов планирования и выполнения измерений. Результаты оценки точности построения цифровой модели рельефа этой территории показали, что универсальный алгоритм фильтрации позволяет с высокой достоверностью автоматизированно отфильтровать ложные точки. Обсуждается, что значения параметров алгоритма зависят от углового разрешения сканирования и расстояния между сканерными станциями.

Предложенные значения следует использовать в качестве начальных при подборе новых, если параметры съемки будут отличны от тех, что применялись при сканировании исследуемого объекта.

## 1 Введение

Метод наземного лазерного сканирования (НЛС) уже давно применяется для выполнения геодезических измерений на местности. Получаемые с его помощью данные представляются в виде массива точек лазерных отражений (ТЛО). Каждая точка массива имеет пространственные координаты и описывается такими характеристиками, как интенсивность отраженного сигнала, порядковый номер отражения, значения яркости в спектральных каналах, получаемые после наложения этой информации с цифровых фотографий [1]. В совокупности массив ТЛО представляет собой точечную цифровую модель местности (ЦММ). Благодаря высокой скорости сбора данных, их высокой точности и сплошного характера получаемого результата НЛС нашло применение в различных отраслях народного хозяйства. По точечной ЦММ создают трехмерные векторные твердотельные ЦММ, различные планы, обмерные чертежи, оценивают техническое состояние объектов, определяют их геометрические параметры и деформационные характеристики, контролируют качество их строительства и реконструкции [2].

НЛС является универсальным методом лазерного сканирования, помогающим решать широкий круг задач. В отличие от мобильного и воздушного лазерного сканирования НЛС позволяет достичь точности определения пространственных координат до миллиметра и выше. Однако оперативность сбора данных с помощью НЛС значительно уступает другим методам лазерного сканирования, вследствие чего рассматриваемый метод применяется на относительно небольших по площади территориях (это связано с особенностью сбора данных из статического положения) или там, где точности других методов лазерного сканирования оказывается недостаточно [3].

Детально технология сбора и обработки данных НЛС представлена в исследовании А.В. Комиссарова [4]. Она охватывает подготовительные работы, полевой сбор данных, предварительную и тематическую обработку. На этапе подготовительных работ составляются технический проект, рабочая программа плано-высотного обоснования (ПВО) и рабочая программа НЛС в зависимости от требований к пространственной привязке. Полевые работы включают рекогносцировку местности, создание ПВО и осуществление лазерного сканирования. Этапы подготовительных и полевых работ подробно освещены А.В. Середовичем [5]. В ходе предварительной обработки выполняются фильтрация и уравнивание данных. При фильтрации удаляются ложные точки, представляющие собой шумы в данных, или точки, которые не принадлежат объекту съемки. Такие шумы влияют на точность уравнивания и достоверность распознавания объектов в массивах ТЛО. При уравнивании осуществляется взаимное и внешнее ориентирование сканов (массивов ТЛО), полученных с отдельных сканерных позиций. Результатом предварительной обработки является точечная ЦММ. На ее основе далее в ходе тематической обработки в зависимости от цели съемки создают твердотельные трехмерные векторные ЦММ, чертежи и топографические планы.

С момента внедрения технологии сбора и обработки данных НЛС накопился большой практический опыт применения этого метода геодезической съемки, были разработаны и внедрены различные автоматизированные методы и алгоритмы обработки данных, расширен функционал программного обеспечения (ПО) по такой обработке, появились новые виды трехмерного моделирования. Поэтому в настоящее время стоит важная задача совершенствования и уточнения описанной технологии с учетом современных достижений науки и техники.

## 2 Материалы и методы

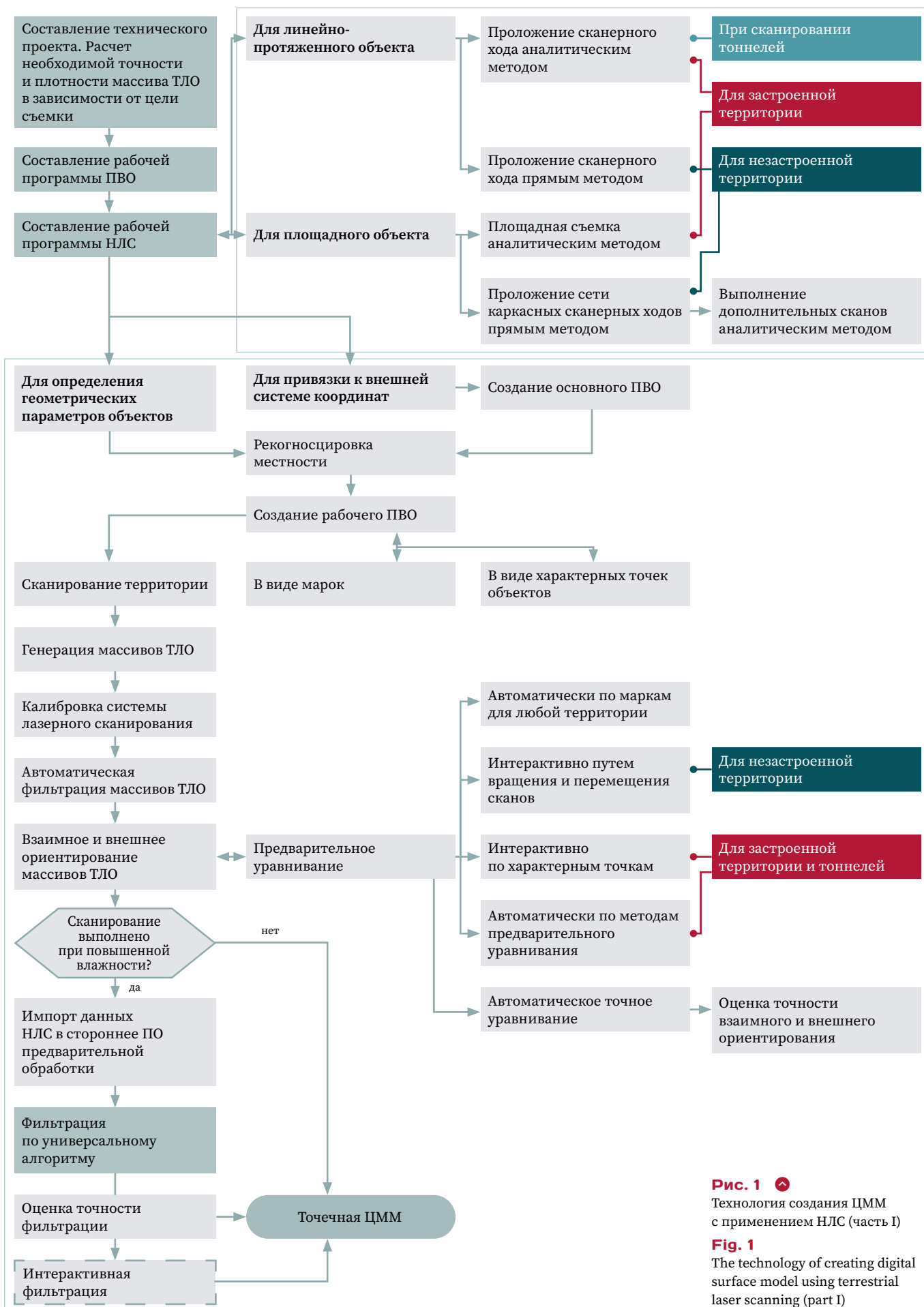
Предложенная А.В. Комиссаровым [4] технология сбора и обработки данных НЛС была усовершенствована посредством уточнения этапов составления рабочей программы НЛС и предварительного уравнивания, а также с учетом возможностей современного ПО для построения трехмерных векторных ЦММ различных видов. Технология разделена на две части. Первая часть охватывает подготовительные, полевые работы и предварительную обработку получаемых данных, вторая затрагивает их тематическую обработку с целью создания трехмерных векторных ЦММ. На рис. 1 представлена первая часть усовершенствованной технологии создания ЦММ с применением метода НЛС, согласно которой сначала составляются технический проект, рабочая программа ПВО и рабочая программа НЛС.

ПВО для осуществления НЛС делится на два вида: основное и рабочее. Основное ПВО необходимо создавать в случае, если требуется пространственная привязка к внешней системе координат. Для этого на местности закрепляются точки долговременного или временного типа, координаты которых определяются от пунктов государственной геодезической сети или сетей сгущения. Если необходимо определять только геометрические параметры объектов, то основное ПВО создавать не требуется. Рабочее ПВО служит для взаимного ориентирования сканов. Точками такого ПВО выступают характерные элементы объектов местности или размещенные вокруг сканерных станций марки.

На этапе составления рабочей программы НЛС учитываются уровень застроенности и характер территории съемки (площадной или линейно-протяженный объект). Они оказывают влияние на выбор метода вычисления элементов внешнего ориентирования сканов. При прямом методе используется прямая засечка, а при аналитическом — двойная обратная [1]. Процесс лазерного сканирования осуществляется посредством проложения сканерных ходов, площадным способом или их сочетанием. Площадная съемка реализуется с помощью аналитического метода. При проложении сканерных ходов может применяться как прямой, так и аналитический метод. Сочетание методов возможно следующим образом: сначала прокладываются каркасные сканерные ходы прямым методом, а затем выполняется досъемка от пунктов каркасной сети с помощью аналитического. Для незастроенной территории линейно-протяженного объекта с целью снижения трудоемкости полевых работ рекомендуется прокладывать сканерные ходы прямым методом. Если сканируется площадной объект, тогда выполняется досъемка аналитическим методом. Для застроенной территории линейно-протяженного объекта и при сканировании тоннелей оптимально прокладывать сканерные ходы аналитическим методом. В свою очередь, для застроенной территории площадного объекта следует выполнять площадную съемку аналитическим методом. Выбор аналитического метода на застроенных территориях обусловлен присутствием большого числа вертикальных плоскостей объектов, где можно разместить марки или распознать отдельные элементы с целью набора соответственных характерных точек для взаимного ориентирования сканов.

После НЛС местности, выполненного в соответствии с составленной рабочей программой, автоматически генерируются трехмерные массивы ТЛО и в случае необходимости в специализированном ПО, куда первоначально импортируются сгенерированные массивы, выполняется калибровка системы лазерного сканирования, заключающаяся в определении элементов взаимного ориентирования лазерного сканера и входящей в эту систему цифровой камеры. Далее в этом ПО выполняются автоматическая фильтрация, взаимное и внешнее ориентирование сканов.

К настоящему времени было разработано большое количество различных методов фильтрации [6–8]. Согласно одной из классификаций [9], их можно разделить на следующие группы: статистические, методы на основе проецирования, соседства, составления дифференциальных уравнений, гибридные, обработки сигналов и др.



**Рис. 1** Технология создания ЦММ с применением НЛС (часть I)  
**Fig. 1** The technology of creating digital surface model using terrestrial laser scanning (part I)

Выполняемое после автоматической фильтрации взаимное и внешнее ориентирование сканов может осуществляться одним из следующих способов:

- от пунктов государственной геодезической сети или сетей сгущения измеряются координаты всех точек рабочего ПВО, которые затем используются для внешнего ориентирования каждого отдельного скана;
- среди всех точек рабочего ПВО выбираются несколько равномерно размещенных по территории, которые совмещаются с точками основного ПВО; по расположенным в зонах перекрытия сканов точкам рабочего ПВО выполняется последовательное взаимное ориентирование каждого скана; получается единая точечная модель, ориентированная в системе координат первого скана, которая затем ориентируется во внешнюю систему координат по точкам основного ПВО;
- первый скан ориентируется по точкам основного ПВО, а затем к нему последовательно подсоединяются другие сканы по точкам рабочего ПВО.

Выбор подходящего способа определяется реализованной схемой создания ПВО и территорией съемки. Сначала выполняется предварительное уравнивание, а затем точное. Для незастроенной территории предварительное уравнивание рекомендуется выполнять автоматически по маркам или интерактивно путем вращения и перемещения сканов. Автоматическое уравнивание по маркам позволяет достичь наибольшей точности при минимальной трудоемкости камеральных работ, но требует размещения марок и их детального сканирования вокруг каждой станции. Для застроенной территории оптимально выполнять предварительное уравнивание интерактивно по характерным точкам или автоматически по соответствующим методам, которые используют информацию о положении вертикальных объектов. Многие подобные методы применяются в специализированном коммерческом ПО обработки данных лазерного сканирования [10]. Обзор таких методов приведен в [11].

Итогом выполненной предварительной обработки данных НЛС является единая точечная ЦММ, состоящая из уравненных сканов, в каждом из которых отфильтрованы ложные ТЛО. В зависимости от внешних условий выполнения измерений автоматическая фильтрация ложных ТЛО выполняется с различной точностью [12]. При сканировании в благоприятных погодных условиях, когда отсутствуют осадки и влага на поверхностях объектов, количество ложных ТЛО минимально и автоматические методы специализированного ПО справляются хорошо. В противном случае многие ложные ТЛО остаются в массиве. Тогда необходимо дополнительно настраивать параметры методов фильтрации, применять сразу несколько методов или разрабатывать алгоритмы фильтрации, представляющие собой комплекс последовательно применяемых методов, параметры которых подбираются исходя из средней плотности данных НЛС и особенностей сканируемой местности. Для фильтрации данных НЛС, полученных в неблагоприятных погодных условиях, был разработан универсальный алгоритм, показанный на рис. 2. Алгоритм отфильтровывает ложные ТЛО и распознает точки поверхности земли с целью построения цифровой модели рельефа (ЦМР). В алгоритме применяется информация об интенсивности отраженного сигнала, метод распознавания точек поверхности земли Аксельсона [13] и следующие методы фильтрации группы других методов: классификации изолированных, воздушных, нижних точек, а также точек, расположенных ниже поверхности. Сущность этих методов фильтрации описана автором ранее [14]. Для применения алгоритма данные НЛС импортируются в ПО Terrasolid. В нем реализованы все методы универсального алгоритма фильтрации, включая метод Аксельсона, пример использования которого рассмотрен в работе [15]. Этот алгоритм также может быть реализован в другом ПО, позволяющем открывать массивы ТЛО и поддерживающем пользовательский программный код [10].

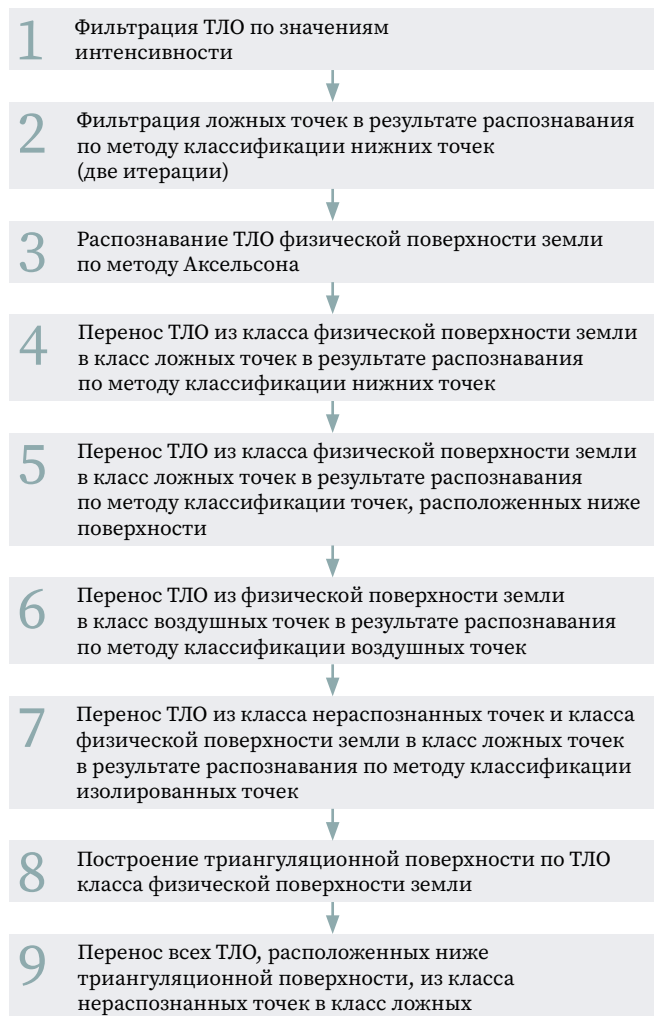
Основой разработки алгоритма послужили два алгоритма фильтрации, один из которых разработан для данных мобильного [16], а другой — для данных воздушного [14] лазерного сканирования. Плотность данных мобильного и воздушного лазерного сканирования является более равномерной по сравнению с плотностью данных НЛС, которая уменьшается с удалением от сканерной

**Рис. 2** ✓

Универсальный алгоритм фильтрации данных НЛС

**Fig. 2**

The common algorithm of filtering terrestrial laser scanning data



**Таблица 1** ✓

Оптимальные значения параметров алгоритма фильтрации данных НЛС

**Table 1**

Optimal parameter values for the algorithm of filtering terrestrial laser scanning data

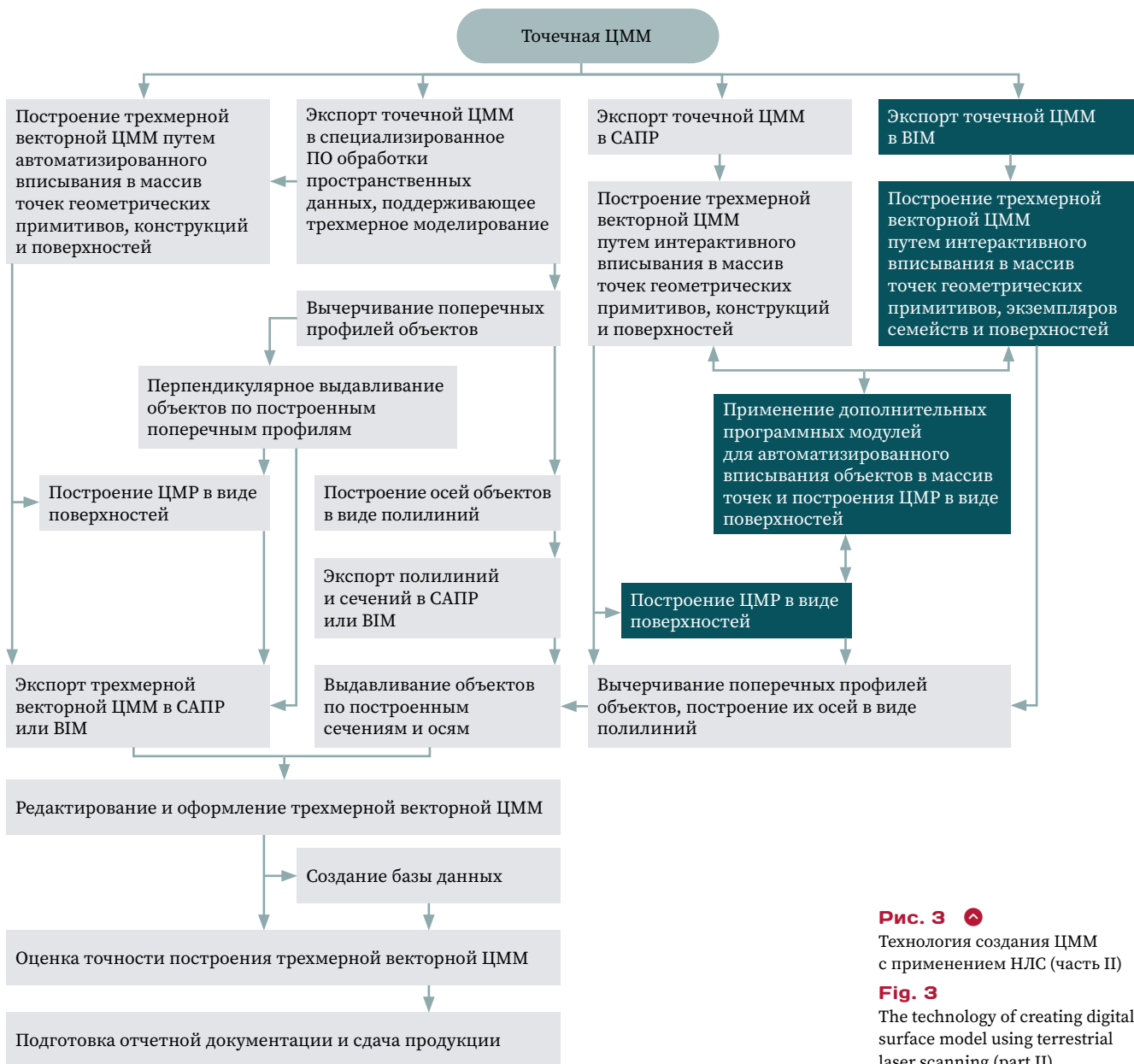
Этап	Применяемый метод	Значения параметров
1	—	Значение интенсивности менее 8 000 для ТЛО
2	Классификации нижних точек	I итерация: максимальное количество точек в группе — 10; радиус — 0,1 м; превышение — 0,5 м
		II итерация: максимальное количество точек в группе — 99; радиус — 0,3 м; превышение — 0,5 м
3	Аксельсона	Размер ячейки — 10 м; дистанция приближения — 1 м; угол приближения — 8°
4	Классификации нижних точек	Максимальное количество точек в группе — 10; радиус — 0,3 м; превышение — 0,3 м
5	Классификации точек, расположенных ниже поверхности	Среднее значение превышения — 0,02 м; коэффициент — 1
6	Классификации воздушных точек	Минимальное количество точек — 3; радиус поиска — 10 м; коэффициент — 4
7	Классификации изолированных точек	Максимальное количество точек в группе — 5; радиус поиска — 5 м

станции во всех направлениях. Это приводит к тому, что значения параметров методов, применяемых в алгоритме фильтрации данных НЛС, менее устойчивы. В табл. 1 приведены наиболее универсальные значения параметров, которые подобраны для фильтрации данных НЛС застроенных территорий.

В дальнейшем точечная ЦММ применяется для создания различной цифровой конечной продукции и решения отдельных научно-технических и практических задач. Трехмерные векторные ЦММ являются одним из основных видов такой цифровой продукции. На рис. 3 приведена вторая часть технологии создания ЦММ с применением НЛС, учитывающая требования к формату трехмерных векторных моделей и особенности применяемого ПО, которое можно разделить на три группы:

- специализированное ПО обработки пространственных данных с возможностями построения трехмерных векторных ЦММ;
- системы автоматизированного проектирования (САПР);
- ПО информационного моделирования (англ. Building Information Model, BIM).

Применение группы специализированного ПО позволяет упростить процесс моделирования за счет наличия инструментов, позволяющих автоматически или автоматизированно вписать геометрические примитивы в массивы ТЛО и построить различные поверхности. Наибольшее распространение получило ПО Leica Cyclone, методика моделирования в котором подробно описана в работе [17].



**Рис. 3** Технология создания ЦММ с применением НЛС (часть II)

**Fig. 3** The technology of creating digital surface model using terrestrial laser scanning (part II)

Многие недостатки специализированного ПО Cyclone отсутствуют в большинстве современных САПР и BIM, где можно выполнять трехмерное моделирование объектов. Функционал САПР и BIM в области трехмерного моделирования, как правило, значительно превосходит возможности специализированного ПО обработки данных НЛС [18, 19].

САПР позволяют создавать сложные твердотельные трехмерные тела и чертежи на их основе, размещать текстовую информацию, выпускать всю необходимую проектную и рабочую документацию. Для трехмерного моделирования в САПР может применяться исходная точечная ЦММ или созданная в специализированном ПО обработки пространственных данных предварительная трехмерная векторная ЦММ, которая импортируется в САПР с целью окончательного оформления.

В BIM-моделях хранится атрибутивная информация об элементах здания, таких как крыша, двери, окна, стены, включая порядок расположения материалов, из которых состоят такие элементы. Эти элементы формируют библиотеки объектов [19]. Они отсутствуют в САПР.

Размещение элементов в BIM осуществляется посредством их интерактивного вписывания в точечную ЦММ. В BIM при вписывании элементов применяется

набор ограничивающих критериев в отличие от САПР. Такие критерии формируются правилами проектирования и необходимы для контроля всех топологических связей между элементами.

В целях автоматизации трехмерного моделирования для BIM и САПР также разрабатываются дополнительные программные модули. Эти модули, например, позволяют классифицировать ТЛО и выполнять автоматическое вписывание геометрических примитивов и их элементов, которые присутствуют в библиотеках объектов. Самым распространенным подобным коммерческим модулем является Leica CloudWorx. Разрабатываются и другие модули. Д.А. Якушев [20] приводит пример модуля для вписывания в точечную ЦММ объектов железнодорожной инфраструктуры и их элементов.

Трехмерная векторная ЦММ может быть импортирована из специализированного ПО обработки пространственных данных или САПР в BIM. Тогда возможна ситуация некорректного распознавания отдельных объектов трехмерной модели в формате BIM, и результат предварительного моделирования в специализированном ПО или САПР применяется для окончательного моделирования в BIM.

В итоге окончательная трехмерная векторная ЦММ в BIM создается одним из трех способов:

- интерактивным моделированием в BIM по точечной ЦММ;
- применением дополнительных программных модулей для автоматизированного моделирования в BIM;
- импортом трехмерной векторной ЦММ из специализированного ПО или САПР в BIM с дальнейшим редактированием при соблюдении правил информационного моделирования.

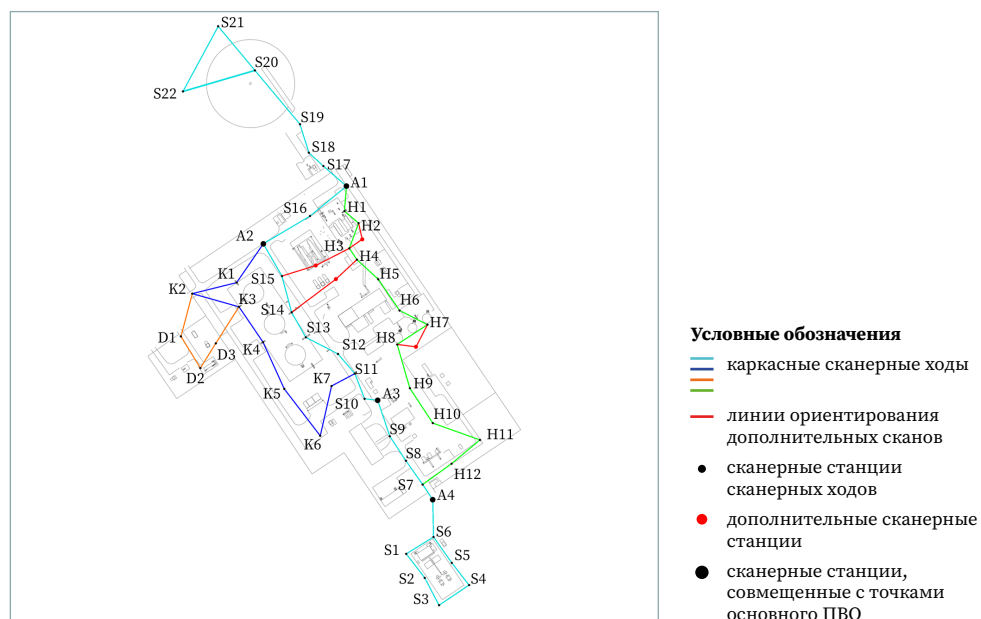
Таким образом, учет современной тенденции перехода от трехмерного моделирования в САПР к моделированию в BIM, а также применение современных инструментов подобных систем отличает предложенную технологию от той, что описана в работе [4].

### 3 Результаты и обсуждение


Технология создания ЦММ с применением метода НЛС была апробирована на данных съемки объектов ПАО «Сургутнефтегаз». На рис. 4 представлена схема создания ПВО и выполнения НЛС на одном из таких объектов — дожимной насосной станции (ДНС) Алинского месторождения.

**Рис. 4**   
Схема создания ПВО и проложения сканерных ходов на дожимной насосной станции

**Fig. 4**  
The diagram of creating horizontal and vertical control survey network and scanner traversing for the booster pump station




НЛС выполнялось с помощью сканера Leica ScanStation 2 посредством проложения каркасных сканерных ходов с использованием прямого метода. Задавалось угловое разрешение по вертикали и горизонтали  $0,06^\circ$ , а среднее расстояние между сканерными станциями составило 30 м. Четыре сканерные станции были совмещены с точками основного ПВО, а остальные использовались в качестве рабочего. Координаты точек основного ПВО были измерены с помощью спутникового приемника со средней квадратической ошибкой 9 мм. Площадь объекта съемки составила около 6 га. Сеть сканерных ходов была автоматически уравнена в ПО Leica Cyclone (табл. 2). Для досъемки зон объекта, не попавших в поле зрения лазерного сканера со станций сети каркасных ходов, применялся аналитический метод, при котором внешнее ориентирование каждого дополнительного скана выполнялось относительно двух ближайших точек каркасных ходов. С учетом того что минимально допустимое количество опорных точек для внешнего ориентирования при условии горизонтирования лазерного сканера равно двум, оценка точности уравнивания дополнительных сканов осуществлялась по зонам взаимного перекрытия массивов ТЛО. Для каждого скана измерялись расхождения по шести равномерно размещенным соответственным точкам.

**Таблица 2**  Оценка точности уравнивания данных НЛС  
**Table 2**  
Accuracy estimation of adjusting terrestrial laser scanning data

Сканы	Ошибка	X, м	Y, м	Z, м
Сеть каркасных сканерных ходов	Средняя	0,005	0,008	0,002
	Средняя квадратическая	0,005	0,006	0,003
	Максимальная	0,027	0,028	0,018
Дополнительные	Средняя	0,008	0,012	0,004
	Средняя квадратическая	0,010	0,014	0,005
	Максимальная	0,018	0,024	0,006

Результат уравнивания представлен на рис. 5. Поскольку сканирование с нескольких станций было выполнено после выпадения осадков, точечная ЦММ содержала большое количество ложных ТЛО. Для их удаления был применен разработанный универсальный алгоритм фильтрации данных НЛС.

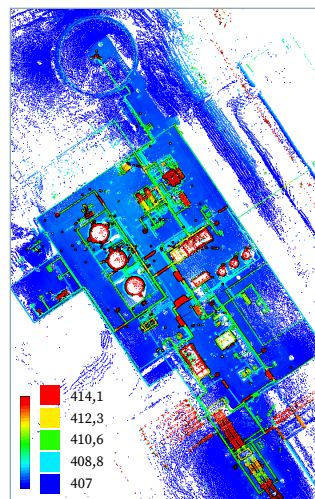
На рис. 6 представлено сечение массива ТЛО глубиной 30 м, где приведен промежуточный результат фильтрации после этапа 1 алгоритма – выделения ТЛО по интенсивности. Информация об интенсивности позволила выделить многие ложные ТЛО, полученные в результате переотражения лазерного луча от влажных поверхностей. Значения интенсивности таких ТЛО от объектов ниже, чем ТЛО истинных объектов. Подобранный пороговое значение интенсивности позволило отфильтровать только часть ложных ТЛО.


**Рис. 5**  Результат уравнивания данных НЛС  
**Fig. 5**  
The result of adjusting terrestrial laser scanning data

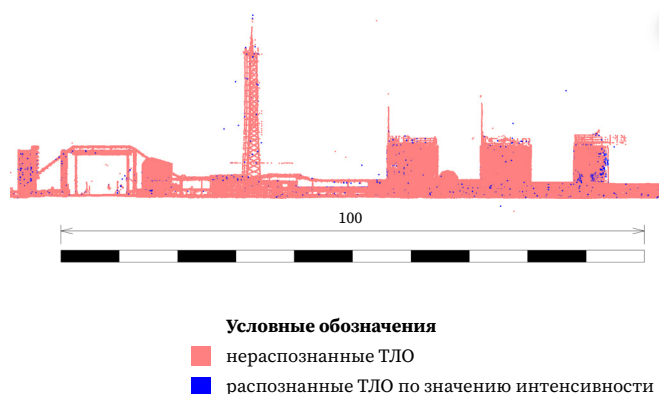
По интенсивности / By intensity



По высоте / By height

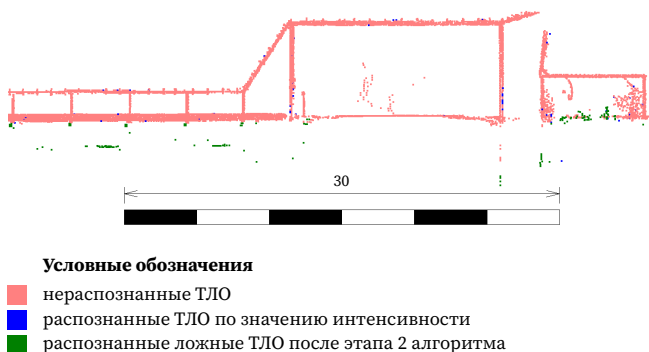


**Рис. 6**  Фильтрации данных НЛС по значению интенсивности  
**Fig. 6**  
The filtering of terrestrial laser scanning data by intensity values



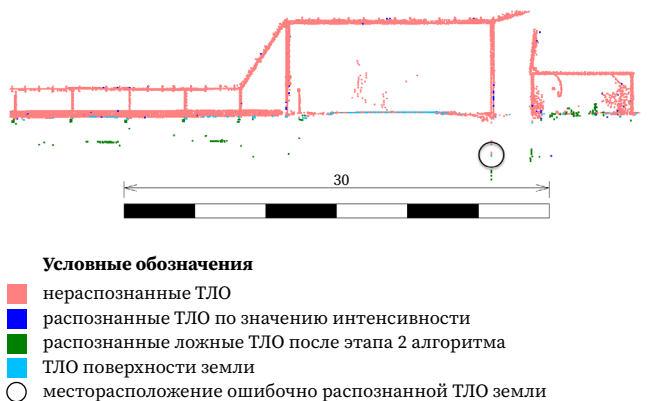
**Рис. 7**   
Фильтрация ложных ТЛО


**Fig. 7**  
The filtering of false laser points



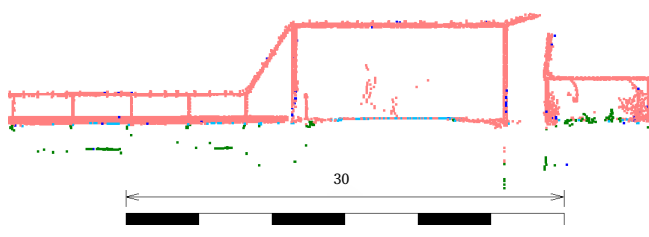
**Рис. 8**   
Распознавание ТЛО земли

**Fig. 8**  
Recognition of ground laser points



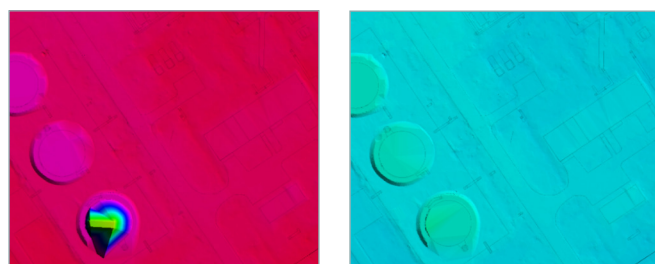
**Рис. 9**   
Результат классификации ТЛО после этапов 4 и 5 алгоритма  
фильтрации данных НЛС

**Fig. 9**  
The result of point cloud classification after the steps 4 and 5



**Рис. 10**   
ЦМР, построенная по ТЛО поверхности земли

**Fig. 10**  
Digital elevation model generated using ground laser points  
После этапа 5 / After the step 5      После этапа 6 / After the step 6



Далее был применен метод фильтрации нижних точек. На рис. 7 приведено сечение массива ТЛО глубиной 4 м, где отображена кабельная эстакада, проходящая над автомобильной дорогой. Этот метод позволил выделить большинство ложных ТЛО, расположенных под поверхностью земли.

Чтобы выделить оставшиеся ложные ТЛО, расположенные под поверхностью земли, предварительно надо распознать точки этой поверхности. Алгоритм классификации точек физической поверхности земли позволил правильно распознать большинство таких точек, за исключением нескольких расположенных под землей и в воздухе. На рис. 8 отмечено расположение одной из ошибочно распознанных точек поверхности земли.

Чтобы устранить ошибки распознавания точек поверхности земли, сначала необходимо повторно применить методы классификации нижних точек и точек, расположенных ниже поверхности. В этом случае выполнялся анализ только среди распознанных точек поверхности земли. На рис. 9 продемонстрировано, что ошибочно распознанная точка поверхности земли была переклассифицирована в класс ложных ТЛО.

С целью исключения ошибок распознавания точек поверхности земли на объектах и в воздухе применялся метод классификации воздушных точек, при этом также анализировались только распознанные точки земли. Для демонстрации результатов работы этого метода была создана промежуточная ЦМР. На рис. 10 показан фрагмент ЦМР в виде триангуляционной поверхности, построенной до применения метода классификации воздушных точек и после него. Цветовые перепады граней треугольников ЦМР показывают, что применяемый метод позволил исключить из класса точек земли ошибочно распознанные ТЛО, принадлежащие поверхности одного из резервуаров.

Для исключения оставшихся отдельных ТЛО из класса нераспознанных и класса земли был применен метод классификации изолированных точек. На рис. 11 приведено сечение массива ТЛО глубиной 10 м, где показаны распознанные по этому методу изолированные ТЛО. Метод позволил исключить большинство оставшихся ложных ТЛО.

На рис. 12 приведен фрагмент окончательного результата фильтрации данных НЛС после последнего этапа универсального алгоритма, согласно которому все нераспознанные ТЛО, находящиеся ниже построенной по точкам земли триангуляционной поверхности, были отнесены к классу ложных. Таким образом, универсальный алгоритм фильтрации данных НЛС позволяет распознать ложные ТЛО, а также достоверно выделить точки поверхности земли, используемые для построения ЦМР.

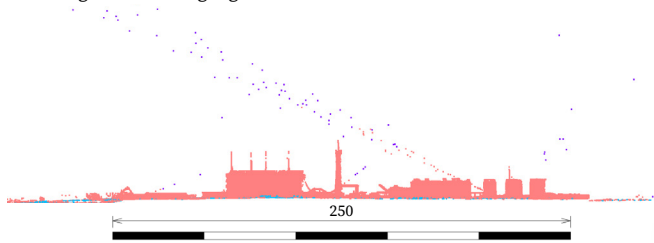
Для оценки точности построения ЦМР территории Алинского месторождения была создана эталонная поверхность, полученная по точкам земли, распознавание которых осуществлялось в два этапа:

**Рис. 11** ✓

Результат классификации ТЛО после этапа 7 алгоритма фильтрации данных НЛС

**Fig. 11**

The result of classification algorithm after the seventh step of the terrestrial laser scanning data filtering algorithm



**Условные обозначения**

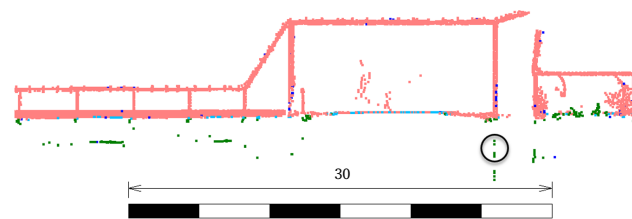
- нераспознанные ТЛО
- изолированные ТЛО
- ТЛО поверхности земли

**Рис. 12** ✓

Фрагмент итогового результата классификации ТЛО

**Fig. 12**

The part of the final point cloud classification result



**Условные обозначения**

- нераспознанные ТЛО
- отфильтрованные ТЛО по значению интенсивности
- отфильтрованные ложные ТЛО после этапа 9 алгоритма
- ТЛО поверхности земли
- месторасположение переклассифицированных точек после этапа 9

**Таблица 3** ✓

Оценка точности построения ЦМР

**Table 3**

Accuracy estimation of generating digital elevation model

Ошибка	Z, м
Средняя	0,019
Средняя квадратическая	0,027
Максимальное отрицательное отклонение	-0,112
Максимальное положительное отклонение	0,093

- 1) применение метода Аксельсона к исходному нефильтрованному массиву ТЛО;
- 2) исправление ошибок автоматической классификации оператором с помощью интерактивных инструментов.

Результаты оценки точности автоматически построенной ЦМР в ходе применения универсального алгоритма фильтрации данных НЛС приведены в табл. 3. Для этого область построения обеих ЦМР была предварительно ограничена периметром основной территории месторождения по внешним ограждениям и прилегающими площадками у входов на эту территорию. Точность оценивалась на основе разницы отметок автоматически построенной и эталонной ЦМР. Шаг размещения отметок составил 1×1 м<sup>2</sup>. Отрицательное отклонение характеризует присутствие ложных точек под истинной поверхностью земли, а положительное — над ней. Ограничение зоны оценки точности выполнялось из-за значительного снижения плотности данных НЛС при удалении от сканерных позиций — по сторонам от территории ДНС. При таком ограничении средняя ошибка построения ЦМР удовлетворяет допуску инструкции по топографической съемке с высотой сечения рельефа 25 см. Без добавления границы построения ЦМР ошибки по контрольным точкам, расположенным по краям массива ТЛО, достигали метровых значений.

Результаты оценки точности подтверждают достоверность подбора приведенных в табл. 1 оптимальных значений параметров универсального алгоритма фильтрации данных НЛС для застроенных территорий. Согласно отображенной на рис. 1 технологии создания ЦММ, этот алгоритм рекомендуется применять для данных, полученных при сканировании в условиях повышенной влажности. Он позволяет удалить большинство ложных ТЛО, возникающих при сканировании в неблагоприятных условиях, когда после выпадения осадков поверхности объектов становятся влажными. В случае применения алгоритма для данных НЛС, полученных в благоприятных погодных условиях при отсутствии влаги, когда нет ложных ТЛО, точность фильтрации и распознавания точек поверхности земли для построения ЦМР не снижается. Другими словами, алгоритм можно применять одновременно для всех данных НЛС, полученных при продолжительной съемке больших по площади территорий в различных погодных условиях.

Если параметры съемки, такие как угловое разрешение и расстояние между сканерными позициями, сильно отличаются от тех, что использовались при подборе оптимальных значений параметров универсального алгоритма фильтрации (разрешение 0,06°, расстояние между сканерными станциями — 30 м), необходимо уточнять значения параметров алгоритма. В таком случае приведенные оптимальные значения следует использовать в качестве начальных.

Полученную в итоге точечную ЦММ можно в дальнейшем применять для создания трехмерной векторной модели по схеме, приведенной на рис. 3.

## 4 Выводы

Усовершенствованная технология создания ЦММ учитывает все особенности сбора и обработки пространственных данных, получаемых с помощью НЛС. Она отличается тем, что позволяет принять решение о выборе подходящего метода осуществления измерений (прямой или аналитический) для определенного вида территории (застроенная, незастроенная или тоннели) и ее характера (площадная или линейно-протяженная) на этапе составления рабочей программы НЛС; выбрать способ предварительного уравнивания в зависимости от вида территории; осуществить дополнительную автоматическую фильтрацию данных НЛС по разработанному универсальному алгоритму, распознавая точки поверхности земли; выполнить трехмерное моделирование территории по предъявляемым к моделям требованиям с учетом возможностей ПО.


В соответствии с представленной технологией были выполнены сканирование территории ДНС и обработка полученных данных. Предложенный универсальный алгоритм фильтрации позволил автоматически распознать ложные ТЛО, а также точки поверхности земли. Оценка точности построенной по точкам земли ЦМР показала надежность подобранных значений параметров алгоритма фильтрации при условии сканирования с указанными параметрами съемки. Дальнейшие исследования могут быть связаны с подбором оптимальных значений параметров алгоритма для фильтрации данных, полученных при различных параметрах съемки, и определения диапазонов угловых разрешений и расстояний между сканерными станциями, для каждого из которых следует выбирать те или иные группы подобранных параметров.

### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В. и др. Наземное лазерное сканирование: монография. Новосибирск: СГГА, 2009. 259 с.
2. Сабитова Т.А., Ященко С.О., Соболева Е.Д. Сравнительный анализ традиционных методов построения топографических планов и трехмерного лазерного сканирования // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. № 1(82). С. 79–88.
3. Бударова В.А., Мартынова Н.Г., Шереметинский А.В. и др. Наземное лазерное сканирование объектов промышленных площадок на территории нефтегазовых месторождений // Московский экономический журнал. 2019. № 6. С. 8–14. DOI:10.24411/2413-046X-2019-16004.
4. Комиссаров А.В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий: дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2016. 278 с.
5. Середович А.В. Методика создания цифровых моделей объектов нефтегазопромыслов средствами наземного лазерного сканирования: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2007. 165 с.
6. Bakula K., Pilarska-Mazurek M., Salach A., et al. Detection of Levee Damage Based on UAS Data-Optical Imagery and LiDAR Point Clouds // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020. Vol. 9. Iss. 4. P. 248. DOI:10.3390/ijgi9040248.
7. Rakotosaona M.J., Barbera V.L., Guerrero P., et al. PointCleanNet: Learning to Denoise and Remove Outliers from Dense Point Clouds // Preprint arXiv.org. 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1901.01060v3> (дата обращения: 23.08.2025).
8. Zaman F., Wong Y.P., Ng B.Y. Density-based Denoising of Point Cloud // Preprint arXiv.org. 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1602.05312> (дата обращения: 23.08.2025).
9. Jin J.S., Wang M.J., Jiang W., et al. A Review of Algorithms for Filtering the 3D Point Cloud // Signal Processing: Image Communication. 2017. Vol. 57. P. 103–112. DOI:10.1016/j.image.2017.05.009.
10. Медведев В.И., Райкова Л.С. Программы для обработки данных лазерного сканирования местности // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2017. № 2(9). С. 10–31. DOI:10.17273/CADGIS.2017.2.2.

11. Dong Z., Liang F., Yang B., et al. Registration of Large-Scale Terrestrial Laser Scanner Point Clouds: A Review and Benchmark // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2020. Vol. 163. P. 327–342. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.03.013.
12. Kalashnikova O.V., Willebrand H.A., Mayhew L.M. Wavelength and Altitude Dependence of Laser Beam Propagation in Dense Fog // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. 2002. Vol. 4635. P. 279–288. DOI:10.1117/12.464103.
13. Axelsson P. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models // *International Archives of ISPRS*. 2000. Vol. XXXIII-4. P. 111–118.
14. Алтынцев М.А. Методика предварительной обработки данных воздушного лазерного сканирования, полученных с применением беспилотных воздушных судов // *Геодезия и картография*. 2023. № 6. С. 30–41. DOI:10.22389/0016-7126-2023-996-6-30-41.
15. Шоломицкий А.А., Ханнанов Р.Р., Олейникова Е.А. Особенности обработки и анализа результатов наземного лазерного сканирования при геодезическом мониторинге земляных дамб // *Вестник СГУГиТ*. 2024. Т. 29, № 2. С. 31–40. DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-2-31-40.
16. Алтынцев М.А., Каркокли Хамид Маджид Сабер. Методика автоматизированной фильтрации данных мобильного лазерного сканирования // *Вестник СГУГиТ*. 2021. Т. 26, № 3. С. 5–19. DOI:10.33764/2411-1759-2021-26-3-5-19.
17. Аманова А.К., Широкова Т.А., Комиссаров А.В. Разработка методики трехмерного моделирования объектов ситуации и рельефа городской территории по данным наземного лазерного сканирования г. Томска // *Сборник материалов VI Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2010»*: в 6 т. Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 1, ч. 3. С. 94–98.
18. Бойков В.Н. САПР автодорог — перспективы развития // *САПР и ГИС автомобильных дорог*. 2013. Т. 1, № 1. С. 6–9. DOI:10.17273/CADGIS.2013.1.1.
19. Рыбин Е.Н., Амбарян С.К., Аносов В.В. и др. BIM-технологии // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2019. Т. 9, № 1. С. 98–105. DOI:10.21285/2227-2917-2019-1-98-105.
20. Якушев Д.А. Автоматизация мониторинга состояния инфраструктуры ж/д транспорта в высокоточном координатном пространстве по данным мобильного лазерного сканирования: дис. ... канд. техн. наук. М., 2016. 191 с.

**АВТОР Алтынцев Максим Александрович**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), Новосибирск, Россия  
 кафедра инженерной геодезии и маркшейдерского дела,  
 Институт геодезии и менеджмента  
 д-р техн. наук, доцент  
 0000-0002-2195-1628

Поступила 04.09.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# Technology for Creating Digital Terrain Models Using Terrestrial Laser Scanning

**Maksim A. Altyntsev**<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technology, Novosibirsk, Russia  
✉ mnbcv@mail.ru

**CITATION** Altyntsev MA. Technology for Creating Digital Terrain Models Using Terrestrial Laser Scanning. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 38–53. DOI:10.30533/GiA-2025-065.

**KEYWORDS** digital terrain model, terrestrial laser scanning, preliminary processing, adjustment, filtering


**ABSTRACT** The technology based on terrestrial laser scanning data and included all stages of data collection and processing for creating digital terrain models is presented. The difference between the proposed technology and the existing ones is a comprehensive consideration of such factors as weather conditions for data collection, the degree of the territory development, its spatial extension and area, as well as the recommendation list for the choice of three-dimensional modeling methods depending on the requirements for the format of vector models and the features of modern software. To improve the quality of data processing, a universal filtering algorithm is included in the technology. The developed algorithm allows recognizing false points in the point cloud and extract the points of the ground surface for generating a digital terrain model. The technology was tested during the survey of the booster pump station territory located in an oil and gas deposit and the processing of the results. The presented laser scanning data accuracy estimation results confirmed the optimality of the planning and measurement steps described in the technology. The digital terrain model accuracy estimation results for the territory demonstrated that a universal filtering algorithm allows automated filtering of false points with high reliability. It is discussed that the values of the algorithm parameters depend on the angular resolution of scanning and the distance between the scanner stations. The proposed values should be used as initial when choosing new ones, if the surveying parameters are different from those used when scanning the researchable object.

**REFERENCES** 1. Seredovich VA, Komissarov AV, Komissarov DV, et al. *Nazemnoe lazernoe skanirovanie* [Terrestrial Laser Scanning] [monograph]. Novosibirsk: SGGA; 2009. 259 p. (In Russian).

2. Sabitova TA, Yashchenko SO, Soboleva ED. Sravnitel'nyi analiz traditsionnykh metodov postroeniya topograficheskikh planov i trekhmernogo lazernogo skanirovaniya [Features Construction of Digital Topographic Plans Using 3D Laser Scanning in the Construction Industry]. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture*. 2021;1(82): 79–88. (In Russian).
3. Budarova VA, Martynova NG, Sheremetevsky AV, et al. Nazemnoe lazernoe skanirovanie ob"ektov promyshlennykh ploshchadok na territorii neftegazovykh mestorozhdenii [Ground-Based Laser Scanning of Industrial Sites on the Territory of Oil and Gas Fields]. *Moscow Economic Journal*. 2019;6: 8–14. (In Russian). DOI:10.24411/2413-046X-2019-16004.
4. Komissarov AV. *Teoriya i tekhnologiya lazernogo skanirovaniya dlya prostranstvennogo modelirovaniya territorii* [Theory and Technology of Laser Scanning for Spatial Modelling of Territories] [dissertation]. Novosibirsk; 2016. 278 p. (In Russian).
5. Seredovich AV. *Metodika sozdaniya tsifrovyykh modelei ob"ektov neftegazopromyslov sredstvami nazemnogo lazernogo skanirovaniya* [The Technique for Creating Digital Models of Oil and Gas Deposits Using Terrestrial Laser Scanning] [dissertation]. Novosibirsk; 2007. 165 p. (In Russian).
6. Bakula K, Pilarska-Mazurek M, Salach A, et al. Detection of Levee Damage Based on UAS Data-Optical Imagery and LiDAR Point Clouds. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020;9(4): 248. DOI:10.3390/ijgi9040248.
7. Rakotosaona MJ, Barbera VL, Guerrero P, et al. PointCleanNet: Learning to Denoise and Remove Outliers from Dense Point Clouds. *Preprint arXiv.org*, 2019. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1901.01060v3> (Accessed 23 August 2025).
8. Zaman F, Wong YP, Ng BY. Density-based Denoising of Point Cloud. *Preprint arXiv.org*, 2016. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1602.05312> (Accessed 23 August 2025).
9. Jin JS, Wang MJ, Jiang W, et al. A Review of Algorithms for Filtering the 3D Point Cloud. *Signal Processing: Image Communication*. 2017;57: 103–112. DOI:10.1016/j.image.2017.05.009.
10. Medvedev VI, Raikova LS. Programmy dlya obrabotki dannykh lazernogo skanirovaniya mestnosti [Programs for Processing Laser Scanning Data]. *CAD & GIS for Roads*. 2017;2(9): 10–31. (In Russian). DOI:10.17273/CADGIS.2017.2.2.
11. Dong Z, Liang F, Yang B, et al. Registration of Large-Scale Terrestrial Laser Scanner Point Clouds: A Review and Benchmark. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2020;163: 327–342. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2020.03.013.
12. Kalashnikova OV, Willebrand HA, Mayhew LM. Wavelength and Altitude Dependence of Laser Beam Propagation in Dense Fog. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. 2002;4635: 279–288. DOI:10.1117/12.464103.
13. Axelsson P. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models. *International Archives of ISPRS*. 2000;XXXIII-4: 111–118.
14. Altyntsev MA. Metodika predvaritel'noi obrabotki dannykh vozdušnogo lazernogo skanirovaniya, poluchennykh s primeneniem bespilotnykh vozdušnykh sudov [The Technique of UAV-Based Airborne Laser Scanning Data Preliminary Processing]. *Geodesy and Cartography*. 2023;6: 30–41. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2023-996-6-30-41.
15. Sholomitskii AA, Khannanov RR, Oleinikova EA. Osobennosti obrabotki i analiza rezul'tatov nazemnogo lazernogo skanirovaniya pri geodezicheskom monitoringe zemlyanykh damb [Features of Processing and Analysis of the Results of Terrestrial Laser Scanning During Geodetic Monitoring of Earth Dams]. *Vestnik SSUGT*. 2024;2(29): 31–40. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-2-31-40.
16. Altyntsev MA, Karkokli Hamid Majid Saber. Metodika avtomatizirovannoi fil'tratsii dannykh mobil'nogo lazernogo skanirovaniya [Technique of Automatic Mobile Laser Scanning Data Filtering]. *Vestnik SSUGT*. 2021;26(3): 5–19. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2021-26-3-5-19.
17. Amanova AK, Shirokova TA, Komissarov AV. Razrabotka metodiki trekhmernogo modelirovaniya ob"ektov situatsii i rel'efa gorodskoi territorii po dannym nazemnogo lazernogo skanirovaniya g. Tomska [Development of 3D Modeling Techniques for the Objects of Urban Lands Situation and Relief Using the Data of Terrestrial Laser

- Scanning in Tomsk]. *Proceedings of VI International Scientific Congress "GEO-Siberia-2010"*. In 6 vols. Novosibirsk: SGGGA, 2010;1(3): 79–83. (In Russian).
18. Boikov VN. SAPR avtodorog – perspektivy razvitiya [Road CAD – Development Prospects]. *CAD & GIS for Roads*. 2013;1(1): 6–9. (In Russian). DOI:10.17273/CADGIS.2013.1.1.
  19. Rybin EN, Ambaryan SK, Anosov VV, et al. BIM-tehnologii [BIM Technology]. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real Estate*. 2019;9(1): 98–105. (In Russian). DOI:10.21285/2227-2917-2019-1-98-105.
  20. Yakushev DA. *Avtomatizatsiya monitoringa sostoyaniya infrastruktury zh/d transporta v vysokotochnom koordinatnom prostranstve po dannym mobil'nogo lazernogo skanirovaniya* [Automation of Monitoring the State of Railway Transport Infrastructure in High-Precision Coordinate Space Based on Mobile Laser Scanning Data] [dissertation]. Moscow; 2016. 191 p. (In Russian).

**AUTHOR Maksim A. Altyntsev**

Siberian State University of Geosystems and Technology, Novosibirsk, Russia  
Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying,  
Institute of Geodesy and Management  
Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor  
 0000-0002-2195-1628

Submitted: September 04, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Мониторинг деформаций аэровокзального комплекса на фундаментной плите без деформационных швов

**Ф.З. Зарипова<sup>1</sup>✉, А.Г. Князев<sup>1</sup>, Э.Д. Кузнецов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

✉ shakirova.fruza@mail.ru

**ЦИТИРОВАНИЕ** Зарипова Ф.З., Князев А.Г., Кузнецов Э.Д. Мониторинг деформаций аэровокзального комплекса на фундаментной плите без деформационных швов // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 54–66. DOI:10.30533/GiA-2025-059.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** геометрическое нивелирование, мониторинг деформаций, геодезические наблюдения, точность I класса

**АННОТАЦИЯ** При строительстве объекта фундаментная плита подвержена деформациям с момента начала возведения конструкций. В зависимости от этапности нагружения, грунтов основания, веса конструкций деформации могут возникнуть на фундаментной плите, на несущих вертикальных конструкциях, также на конструкциях покрытия кровли. Геодезические методы наблюдений позволяют обнаружить деформации на ранней стадии их развития, что помогает предупредить катастрофические обрушения. Точность производства геодезических наблюдений технически сложных объектов определяется в каждом конкретном случае на стадии разработки проектной документации. При новом строительстве нагрузка от веса объекта распределяется на фундаментную плиту. Возведение конструкций происходит постепенно, по участкам. Таким образом, возникает неравномерная деформация фундаментной плиты в зависимости от устраиваемых конструкций, в дальнейшем воздействующая на другие конструкции: колонны, перекрытия, кровлю. В представленной работе выполняется мониторинг деформаций фундаментной плиты и покрытия кровли объекта строительства. По материалам геодезических наблюдений выполнено формирование модели геометрического нивелирования I<sub>c</sub> класса. Рассматриваются технические характеристики нивелирных ходов и разница высотных отметок деформационных марок, позволяющие оценить качество полевых измерений. Согласно результатам уравнивания нивелирных линий, невязки ходов находятся в допустимых пределах точности I класса. Полученная разница высотных

отметок деформационных марок до 1 мм является показателем качества производства нивелирования I класса. Применение усовершенствованной методики наблюдений допустимо при соблюдении точностных характеристик нивелирования I класса и выполнении работ короткими плечами до 15 м.

## 1 Введение

К зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности в соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации<sup>1</sup> относятся особо опасные, технически сложные или уникальные объекты. В качестве примеров можно привести объекты инфраструктуры воздушного транспорта, атомной энергетики, магистральные трубопроводы, нефтяные резервуары, здания с пролетами от 100 и более метров и т. д. Тем не менее количество уникальных и технически сложных объектов растет, а обновление нормативной документации отстает от новых технических решений [1, 2].

Согласно СП 22.13330.2016<sup>2</sup> и СП 305.1325800.2017<sup>3</sup>, для обеспечения безопасности строительства и эксплуатации зданий необходим мониторинг деформаций несущих конструкций технически сложных и уникальных объектов [3]: эксплуатационная безопасность данных конструкций напрямую влияет на жизнь человека.

С развитием приборостроения изменяются технологии мониторинга технического состояния конструкций объектов. На сегодняшний момент при строительстве технически сложных зданий часто применяют как геодезические, так и параметрические методы наблюдений [4–6]. Геодезические методы наблюдений являются неотъемлемой частью строительства технически сложных и уникальных объектов [7]. Автоматизация в приборостроении позволяет комбинировать методы мониторинга и получать более точные результаты [8, 9].

В нормативной документации описываются методы наблюдений, характеристики наблюдаемых деформаций (крен, осадка, относительная разность осадок и т. д.), предельно допустимые значения отклонений, точностные характеристики производства работ, но эти требования в большей степени относятся к классическим и типовым расчетным схемам при строительстве. Требования к мониторингу деформаций технически сложных объектов определяются на стадии проектной документации расчетами для конкретного здания и сооружения. С целью подтверждения расчетных величин производится мониторинг наиболее распространенным методом — геодезическим. По точности метод наблюдений назначается согласно прогнозируемой предельно допустимой величине деформаций.

Анализ качества производства геодезических наблюдений — важная составляющая при определении деформаций на начальной стадии их развития, необходимы исследования по определению систематических ошибок [10].

Авторами предложена модернизированная методика геометрического нивелирования II класса [11]. Успешные результаты ее апробации свидетельствуют о потенциальной возможности переноса усовершенствований в методику нивелирования с целью повышения эффективности. В рамках данного исследования

1 Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102090643> (дата обращения: 27.05.2025).

2 СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14627/> (дата обращения: 27.05.2025).

3 СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/16046/> (дата обращения: 27.05.2025).

выполнена оценка целесообразности применения усовершенствованной технологии I класса для мониторинга вертикальных деформаций оснований фундаментов при решении задач высокоточных повторных измерений.

Для достижения цели исследования необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) формирование данных по усовершенствованной методике I<sub>C</sub> класса по результатам полевых измерений с точностью I класса;
- 2) уравнивание сети нивелирных ходов I и I<sub>C</sub> классов;
- 3) сравнение полученных характеристик нивелирных линий и высотных отметок деформационных марок, полученных в результате нивелирования с разными классами точности.


## 2 Материалы и методы

Объектом исследования является здание аэровокзала, имеющее криволинейные формы ограждающих конструкций и конструкций кровли. Размеры покрытия в плане составляют 196 м (направление запад — восток) и 111 м (направление север — юг), перепад по высоте кровли — до 15 м. Перекрестно-стержневые фермы — основные несущие элементы покрытия, выполненные из стали в виде сферических узлов и стержней. Конструкции покрытия опираются на 9 внутренних колонн и 4 внешних структурных опорных элемента. Такая система обеспечивает высокую осевую жесткость и сводит возможные предельные деформации конструкций к минимально достижимым значениям.

Пространственная жесткость и устойчивость конструкции обеспечиваются работой коробчатого фундамента, внутренних стен, колонн, имеющих защемление в фундаментной плите, и диском перекрытия подземного этажа. Горизонтальная жесткость здания определяется устройством шарнирных соединений с фундаментом и покрытием. Система фасадов воспринимает нагрузку от ветра и передает ее на покрытие и фундамент.

В качестве фундамента основной площади здания принята цельная фундаментная плита без деформационных швов на естественном основании. Фундаментная плита переменной толщины: 600 мм — основная часть, до 1500 мм — под главными внутренними колоннами (9 шт.), 2000 мм — под главными наружными колоннами (4 шт.), на которые опирается покрытие.

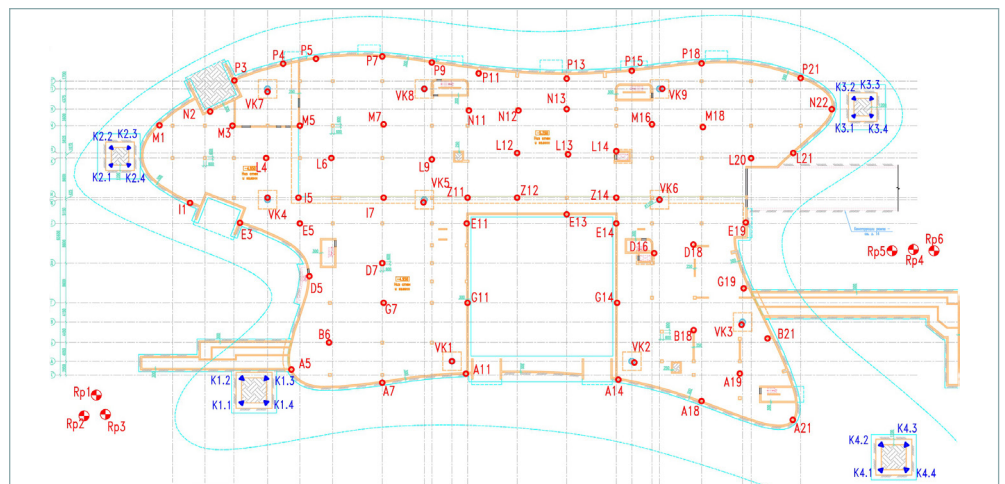
Система мониторинга фундаментной плиты включает исходные реперы и деформационные марки. Установлено два куста исходных реперов с двух противоположных сторон здания, реперы закреплены на скальном основании. Деформационные марки установлены на вертикальные конструкции коробчатого фундамента таким образом, чтобы основание марки располагалось за рабочей арматурой конструкции. Схема расположения исходных реперов и деформационных марок представлена на рис. 1.

**Рис. 1**  Расположение реперов и деформационных марок

**Fig. 1** Location of benchmarks and deformation marks

**Условные обозначения**

- Rp1–Rp6** исходные реперы
- M1–A21** деформационные марки на фундаментной плите
- VK1–VK9** деформационные марки на конструкциях под главными внутренними колоннами
- K1.1–K4.4** деформационные марки на конструкциях под главными наружными колоннами



## 2.1 Геометрическое нивелирование

На объекте выполняется наблюдение деформаций конструкций фундаментной плиты методикой высокоточного геометрического нивелирования. Для этого на несущих конструкциях здания расположены 6 глубинных реперов и 109 деформационных марок.

Нивелирование на объекте производится ступенчато путем построения:

- локальной сети высотного обоснования (ход первой ступени);
- хода связи (от исходных реперов до деформационных марок);
- локальных сетей и ходов второй ступени (ходы по деформационным маркам).

Такой способ производства наблюдений практически не сказывается на результатах точности нивелирования, минимизируя влияние кривизны Земли и рефракции земной атмосферы.

Нивелирование по деформационным маркам проводится согласно следующей программе:

- ЗППЗ (где З – задняя рейка, П – передняя рейка) в прямом и обратном направлении, исключен второй горизонт;
- короткими лучами от прибора до реек (расстояние не более 15 м);
- минимальная высота визирования – 0,5 м;
- отсутствует строгий контроль равенства плеч на станции, разница до 2 м.

По требованиям проектной документации точность производства геометрического нивелирования превышает точность I класса: измерения превышений между марками на станции выполняются с точностью 0,15 мм.

При измерениях соблюдается допустимая невязка полигона для I класса:

1 ➤

$$f_{Hi} \text{ (мм)} = 0,3\sqrt{n},$$

где  $f_{Hi}$  – невязка нивелирного хода;

$n$  – количество штативов в ходе.

Геометрическое нивелирование проводится высокоточным нивелиром Leica LS15 в комплекте с инварными штрихкодowymi рейками. Периодичность наблюдений составляет 1 месяц.

Уравнивание результатов измерений произведено в программе КРЕДО НИВЕЛИР. По результатам наблюдений построен график суммарных осадок по деформационным маркам в программе КРЕДО РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ на последний цикл наблюдений (рис. 2).

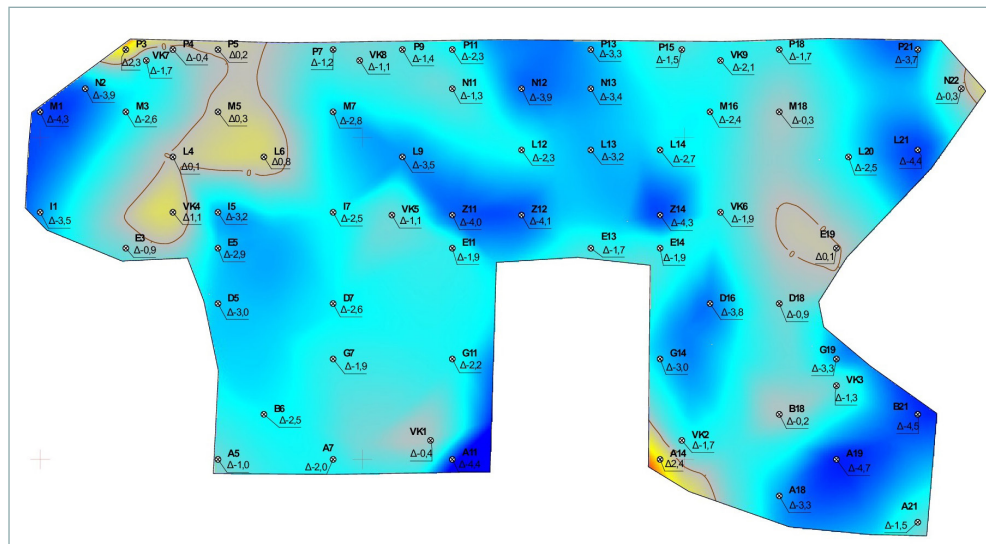
Как видно из рис. 2, прослеживается прогиб фундаментной плиты в сторону деформационных марок A18, A19, B21. Максимальная осадка деформационной марки A19 составила –5,2 мм, средняя осадка фундаментной плиты за весь период наблюдений составила –1,7 мм. Проектной документацией определена расчетная максимальная осадка фундамента –6,0 мм.

Рис. 2 ➤

Суммарная осадка по деформационным маркам, мм

Fig. 2


Total settlement by deformation marks, mm



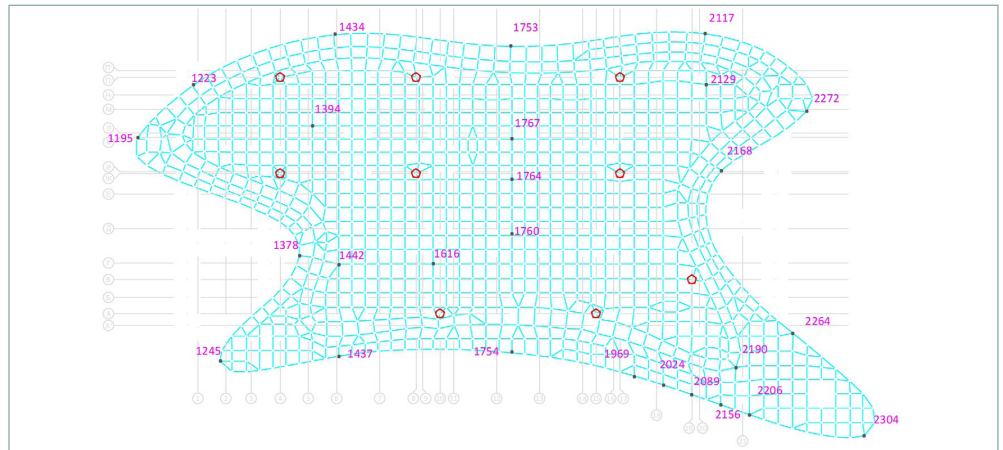
## 2.2 Тригонометрическое нивелирование

Метод тригонометрического нивелирования для определения разностей высот точек (превышений) базируется на связи угла наклона визирного луча и расстояния между точками. Метод тригонометрического нивелирования является неотъемлемой частью ряда работ при мониторинге деформаций.

Наблюдения за перемещениями конструкции кровли производятся методом тригонометрического нивелирования по узловым элементам в количестве 9 шт. (рис. 3). Определение вертикальных перемещений выполняется с точностью 2 мм, что, согласно ГОСТ 24846-2019<sup>4</sup>, соответствует точности II класса. Наблюдения производятся методом обратной линейно-угловой засечки с пунктов геодезической разбивочной основы. Для производства наблюдений применяется электронный тахеометр Leica TS09 1".

**Рис. 3**  Расположение деформационных марок для наблюдения кровли

**Fig. 3** Location of deformation marks for roof observation



Прогиб определяется при анализе полученных значений высотных отметок деформационных марок.

Согласно п. 2 табл. Д.1 СП 20.13330.2016<sup>5</sup>, величина вертикального предельного прогиба между опорами  $P_1$  определяется из соотношения

**2**  
$$P_1 = l/300,$$

где  $l$  — длина пролета (51 000 мм).

Таким образом,

$$P_1 = 51000/300 = 170 \text{ мм.}$$

Согласно примечаниям 1 и 2 к табл. Д.1 СП 20.13330.2016<sup>5</sup>, предельный прогиб для кромки конструкции покрытия  $P_2$  определяется из соотношения

**3**  
$$P_2 = (2 \times l)/225,$$

где  $l$  — длина пролета (7747 мм).

Таким образом,

$$P_2 = 2 \times (7747/225) = 68,8 \text{ мм,}$$

$$P_{\text{общ}} = P_1 + P_2 = 170,0 + 68,8 = 238,8 \text{ мм.}$$

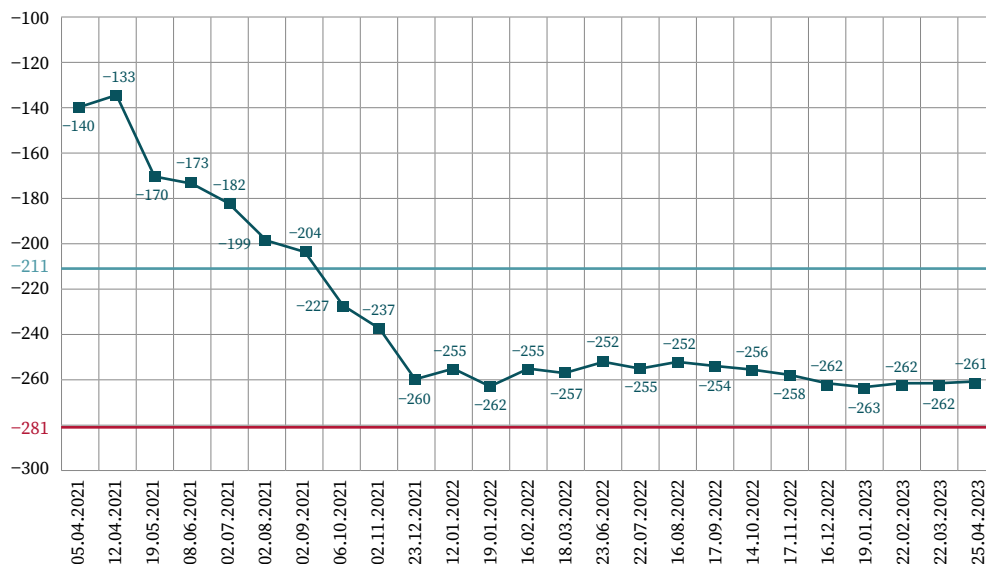
$P_{\text{общ}}$  рассчитывается для каждого узла индивидуально.

4 ГОСТ 24846-2019. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. М.: Стандартинформ, 2020. С. 3.

5 СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13673/> (дата обращения: 27.05.2025).

**Рис. 4**   
Вертикальные перемещения деформационной марки 2089

**Fig. 4**  
Vertical displacements of deformation mark 2089



Согласно проектной документации, наиболее подвержена вертикальным перемещениям деформационная марка 2089 в размере  $-281$  мм. Расчетное положение конструкции с учетом действия постоянных нагрузок проектной документацией определено в  $-211$  мм. На момент последнего цикла измерений абсолютное вертикальное перемещение деформационной марки 2089 составляет  $-261$  мм, что на  $50$  мм ниже расчетного положения конструкции, но не превышает максимально допустимых значений  $-281$  мм (рис. 4).

Таким образом, полученные значения прогибов конструкций не превышают максимально допустимых величин.

Прогиб по деформационной марке 2089 стабилизируется и не превышает максимально допустимых значений. По материалам наблюдений покрытия кровли методом тригонометрического нивелирования направление и значения деформаций подтверждаются. Деформации кровли и фундаментной плиты согласуются между собой, величины деформаций не критичны.


### 3 Результаты и обсуждение

По значениям тригонометрического нивелирования получен прогиб конструкций покрытия. Значения величин прогибов в наблюдаемых узлах кровли за последний цикл представлены в табл. 1. Деформация наиболее протяженного пролета в узле 2089 приведена отдельно (табл. 2).

**Таблица 1**   
Значения величин прогибов в наблюдаемых узлах кровли

**Table 1**  
Values of deflections in the observed roof nodes

Узел	Величина прогиба в узле, мм		
	Максимально допустимая	Абсолютная (суммарная)	Относительная (текущая)
1223	-220	-122	0
1442	-251	-89	1
1753	-234	-143	-4
1754	-214	-23	3
1764	-225	-103	-1
2089	-281	-261	-4
2117	-268	-102	-5
2168	-257	-60	1
2190	-234	-166	-3


**Таблица 2**   
Деформация наиболее протяженного пролета в узле 2089

**Table 2**  
Deformation of the longest span in node 2089

Вертикальное перемещение	Значение, мм
Максимально допустимое	-281
Расчетное положение конструкции	-211
Абсолютное	-261
Относительное	-4

В результате выполненных работ удалось определить значения стабилизации деформационных процессов конструкций кровли и фундаментной плиты. Анализ данных деформаций свидетельствует о затухании деформаций в целом.

По данным геометрического нивелирования выполнено уравнивание нивелирных ходов. Для оценки качества выполнения полевых измерений уравнивание выполнено с точностью I и I<sub>C</sub> класса. При уравнивании I класса учитывались нивелирные хода в прямом и обратном направлении, при уравнивании I<sub>C</sub> класса исключен обратный ход из I класса. Из-за большого количества циклов результаты уравнивания представлены только для некоторых циклов наблюдений (табл. 3).

**Таблица 3**   
 Характеристики нивелирных линий  
**Table 3**  
 Characteristics of leveling lines

Цикл наблюдений	Линия	Класс	Длина линии, км	Число звеньев	Расстояние между знаками, км		Невязка линий, мм		СКО на 1 штатив, мм
					Наибольшее	Среднее	Полученная	Допустимая	
4	M18	I	0,33	14	0,02	0,02	0,1	0,6	0,0367
		I <sub>C</sub>	0,33	14	0,02	0,02	0,2	1,1	0,0414
6	M18	I	0,13	6	0,02	0,02	0,7	1,1	0,2715
		I <sub>C</sub>	0,13	6	0,02	0,02	0,5	1,1	0,1939
8	M18	I	0,11	7	0,02	0,02	0,2	0,7	0,0917
		I <sub>C</sub>	0,11	7	0,02	0,02	0,3	0,7	0,1191
10	M18	I	0,12	7	0,02	0,02	0,0	0,8	0,0151
		I <sub>C</sub>	0,12	7	0,02	0,02	0,0	0,8	0,0113
12	M18	I	0,23	7	0,02	0,01	0,6	0,8	0,0804
		I <sub>C</sub>	0,23	7	0,02	0,01	0,6	0,8	0,1035
15	M18	I	0,26	10	0,02	0,02	0,2	0,8	0,0748
		I <sub>C</sub>	0,26	10	0,02	0,02	0,3	0,8	0,0667
16	M18	I	0,24	9	0,02	0,02	0,6	0,9	0,1220
		I <sub>C</sub>	0,24	9	0,02	0,01	0,9	0,9	0,1296
17	M18	I	0,26	10	0,02	0,01	0,1	0,9	0,1604
		I <sub>C</sub>	0,26	10	0,02	0,02	0,0	0,9	0,1491
18	M18	I	0,26	10	0,02	0,02	0,1	0,9	0,1496
		I <sub>C</sub>	0,26	10	0,02	0,02	0,0	0,9	0,1309

Анализ показывает, что полученные невязки нивелирных линий I<sub>C</sub> класса не превышают допустимых невязок для I класса. ГОСТ 24846-2019<sup>6</sup> устанавливает, что точность измерений вертикальных смещений составляет 1 мм. Полученные при уравнивании среднеквадратические ошибки не превышают допустимых величин для I класса:

**4**  
$$m_{изм} \leq 0,5m_k,$$

где  $m_{изм}$  — СКО на 1 штатив, мм (значения столбца «СКО на 1 штатив, мм» в табл. 3);  $m_k$  — допускаемая погрешность измерения перемещений (1 мм).

На рис. 5 представлен график зависимости допустимых и полученных невязок нивелирных ходов I и I<sub>C</sub> класса.

Данные табл. 3 и рис. 5 позволяют выявить более точные наблюдения прямого хода при меньших значениях невязок нивелирных линий для I<sub>C</sub> класса в сравнении с I классом. Равенство значений невязок I и I<sub>C</sub> класса говорит о равнозначности прямого и обратного хода. Каждый цикл наблюдений выполняется одним и тем же прибором, теми же специалистами, что позволяет добиваться

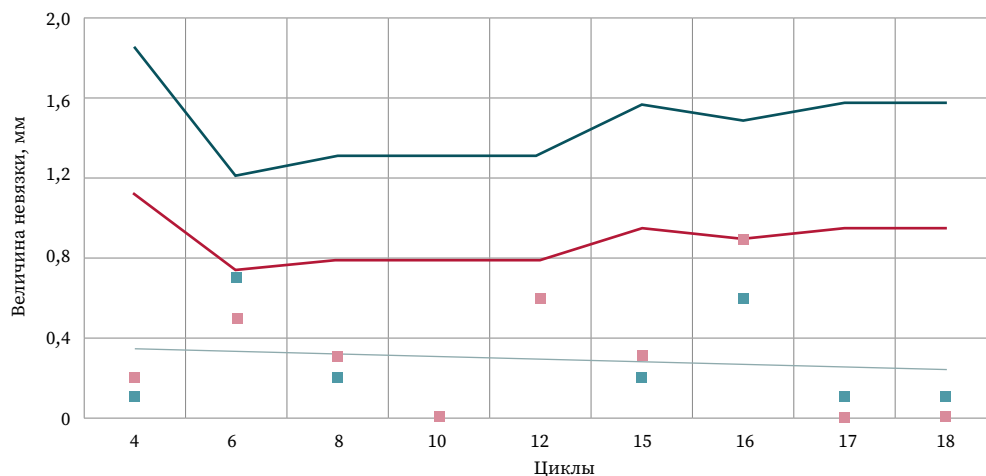
<sup>6</sup> ГОСТ 24846-2019. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. М.: Стандартинформ, 2020. С. 3.

**Рис. 5**   
Невязки нивелирных линий  
I и I<sub>c</sub> класса

**Fig. 5**  
Misalignments of leveling lines  
of class I and I<sub>c</sub>

**Условные обозначения**


- $0,3\sqrt{n}$
- $0,5\sqrt{n}$
- I класс
- I<sub>c</sub> класс
- линейная (I класс)



улучшения точности наблюдений, о чем свидетельствует линия тренда, построенная для I класса.

Выполнено сравнение полученных значений высотных отметок деформационных марок (табл. 4). Ввиду большого объема данных представлена только их часть.

Данные табл. 4 свидетельствуют о минимальном различии в значениях высотных отметок деформационных марок, полученных в результате геометрического нивелирования I класса и усовершенствованного нивелирования I<sub>c</sub> класса методом исключения обратного хода. Разницы высотных отметок не превышают значение, соответствующее точности прибора в 0,3 мм, точности наблюдений на станции в 0,15 мм. Анализ наблюдений показывает, что точность производства наблюдений и избыточность собранных данных обеспечивают точность, превышающую точность I класса.

**Таблица 4**   
Разница высотных отметок  
деформационных марок  
для I и I<sub>c</sub> класса

**Table 4**  
Difference in the height marks  
of deformation marks  
for class I and I<sub>c</sub>

Марка	Разница высотных отметок, мм								
	Цикл / месяц и год								
	4 / 12.2021	6 / 02.2021	8 / 04.2021	10 / 06.2021	12 / 08.2021	15 / 11.2021	16 / 12.2021	17 / 01.2022	18 / 02.2022
E19	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VK6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
D18	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0
D16	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,2
G19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1
VK3	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B21	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0
A21	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,1	0,0
A18	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
VK2	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A14	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
G14	0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	0,1	0,0	-0,1
E14	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A19	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
B18	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,1	-0,1
Ср.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

На основании анализа экспериментальных данных разработана усовершенствованная программа нивелирования, соответствующая точности I класса:

- ЗП (где З — задняя рейка, П — передняя рейка) в прямом и обратном направлении, исключен второй горизонт;
- короткими лучами от прибора до реек (расстояние не более 15 м);
- минимальная высота визирования — 0,5 м;
- отсутствует строгий контроль равенства плеч на станции, разница плеч до 2 м.

## 4 Выводы

По наблюдениям прогибов конструкций кровли регистрируются колебания значений деформаций. Наиболее вероятной причиной перемещений в виде колеблющихся горизонтальных и вертикальных значений служит неравномерный нагрев элементов от прямого воздействия солнечного света. Величины деформаций не превышают максимально допустимых значений. Отсутствие скачкообразных изменений отклонений наблюдаемых параметров, а также величины деформации конструкций фундаментов подтверждают стабилизацию конструкции.

Комплексное применение мониторинга технического состояния и геотехнического мониторинга на технически сложных объектах является необходимым. Это позволяет повысить надежность контроля деформаций всего объекта и его отдельных конструкций.

При выполнении геометрического нивелирования посредством электронного нивелира Leica LS15 в комплекте с инварными штрихкодowymi рейками с точностью I класса применима разработанная усовершенствованная методика нивелирования при условии соблюдения точностных характеристик I класса: программа наблюдений ЗП (прямо-обратно), выполнение наблюдений короткими лучами до 15 м, разница плеч на станции до 2 м.


Приведенная в работе методика анализа результатов наблюдений отвечает технологии оценки качества производства геометрического нивелирования и подтверждает высокую точность производства геометрического нивелирования I класса. Исследование качества геометрического нивелирования будет продолжено на основе моделирования случайных ошибок с целью получения статистического обоснования предложенной схемы наблюдений и обработки данных.

### БИБЛИОГРАФИЯ


1. Давидюк А.А., Смирнова Ю.А., Долгалев А.П. Автоматизированный мониторинг зданий и сооружений при помощи датчиков // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С. 55–59. DOI:10.33622/0869-7019.2019.02.55-59.
2. Веселов В.В. Проблемы постановки геодезического мониторинга деформаций зданий и сооружений объектов использования атомной энергии // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы XVII Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций. М.: Геомаркетинг, 2022. С. 110–117.
3. Бабаев И.А., Конушина Е.Ю. Геотехнический мониторинг деформаций зданий и сооружений // Стратегические ресурсы Тюменского АПК: люди, наука, технологии: сборник трудов LVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2024. С. 52–62.
4. Доронина В.Г., Гулякин Д.В. Современные системы автоматизированного мониторинга зданий // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 106-10. С. 31–34. DOI:10.18411/trnio-02-2024-547.
5. Рогозина А.Е., Литвинова О.В. Анализ современного программного обеспечения и перспективы внедрения в массовое строительство // Молодежный вестник ИрГТУ. 2023. Т. 13, № 2. С. 425–431.

6. Гарибин П.А., Ольховик Е.О., Шабанов С.В. Методология организации непрерывного мониторинга технического состояния ГТС водного транспорта // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 2(674). С. 58–72.
7. Горохова Е.И. Геомониторинг инженерных сооружений и прогнозирование их деформаций по данным лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. 2016. № 2(34). С. 65–72.
8. Ямбаев Х.К. Некоторые аспекты цифровой технологии геодезического мониторинга и диагностики несущих конструкций уникальных инженерных сооружений // Вестник СГУГиТ. 2018. Т. 23, № 3. С. 138–153.
9. Горбунов А.Ю. Подходы к наблюдениям за деформациями инженерных сооружений комплексом геодезических приборов // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: материалы Всероссийской научно-практической конференции «Геонауки-2019». Иркутск: ИРНТИУ, 2019. С. 104–107.
10. Гичаева М.М. Анализ и обобщение результатов исследований существующих методов определения деформаций инженерных объектов // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 91-7. С. 141–144. DOI:10.18411/trnio-11-2022-368.
11. Зарипова Ф.З., Князев А.Г., Кузнецов Э.Д. Контроль производства геометрического нивелирования при мониторинге демонтируемого многоэтажного здания // Грозненский естественно-научный бюллетень. 2025. Т. 10, № 3(41). С. 38–44. DOI:10.25744/genb.2025.3.41.006.


**АВТОРЫ** **Зарипова Фируза Зарифовна**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ), Екатеринбург, Россия  
кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды,  
Институт естественных наук и математики  
 0009-0004-6792-925X

**Князев Алексей Геннадьевич**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ), Екатеринбург, Россия  
кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды,  
Институт естественных наук и математики  
 0009-0005-4294-862X

**Кузнецов Эдуард Дмитриевич**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ), Екатеринбург, Россия  
кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды,  
Институт естественных наук и математики  
д-р физ.-мат. наук, доцент  
 0000-0002-9760-0242

Поступила 09.06.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# Monitoring of Deformations of the Airport Complex on a Foundation Slab without Expansion Joints

**Firuza Z. Zaripova<sup>1</sup>✉, Aleksey G. Knyazev<sup>1</sup>, Eduard D. Kuznetsov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

✉ shakirova.fruza@mail.ru


**CITATION** Zaripova FZ, Knyazev AG, Kuznetsov ED. Monitoring of Deformations of the Airport Complex on a Foundation Slab without Expansion Joints. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 54–66. DOI:10.30533/GiA-2025-059.

**KEYWORDS** geometric leveling, deformation monitoring, geodetic observations, accuracy class I


**ABSTRACT** During construction of an object, the foundation slab is subject to deformations from the moment the structures are erected. Depending on the loading stages, the foundation soils, the weight of the structures, deformations can be on the foundation slab, on the supporting vertical structures, and also on the roof covering structures. Geodetic observation methods allow detecting deformations at an early stage of their development, which helps prevent catastrophic collapses. During new construction, the load from the weight of the object is distributed on the foundation slab. The construction of structures occurs gradually, in sections, thus causing uneven deformation of the foundation slab depending on the structures being installed. These deformations subsequently affect other structures: columns, floors, roofing. The accuracy of geodetic observations of technically complex objects is determined individually, at the stage of developing design documentation. The presented work monitors deformations of the foundation slab and roof covering of the construction object. Based on the materials of geodetic observations, geometric leveling was used to model class I<sub>c</sub> geometric leveling. The technical characteristics of the leveling runs and the difference in the elevation marks of the deformation marks are considered, allowing us to assess the quality of field measurements. According to the results of leveling lines adjustment, the misalignments of the lines are within the permissible limits of class I accuracy. The obtained difference in the height marks of deformation marks up to 1 mm is an indicator of the quality of class I leveling. The use of an improved observation method is permissible if the accuracy characteristics of class I leveling are observed and work is performed with short arms up to 15 meters.

- REFERENCES**
1. Davidyuk AA, Smirnova YuA, Dolgalev AP. Avtomatizirovanniy monitoring zdanii i sooruzhenii pri pomoshchi datchikov [Automated Monitoring of Buildings and Structures Using Sensors]. *Industrial and Civil Engineering*. 2019;2: 55–59. (In Russian). DOI:10.33622/0869-7019.2019.02.55-59.
  2. Veselov VV. Problemy postanovki geodezicheskogo monitoringa deformatsii zdanii i sooruzhenii ob'ektov ispol'zovaniya atomnoi energii [Problems of Setting up Geodetic Monitoring of Deformations of Buildings and Structures of Nuclear Energy Facilities]. *Prospects for the Development of Engineering Surveys in Construction in the Russian Federation: Proceedings of the Seventeenth All-Russian Scientific and Practical Conference and Exhibition of Survey Organizations*. Moscow: Geomarketing; 2022: 110–117. (In Russian).
  3. Babaev IA, Konushina EYu. Geotekhnicheskii monitoring deformatsii zdanii i sooruzhenii [Geotechnical Monitoring of Deformations of Buildings and Structures]. *Strategic Resources of the Tyumen Agro-Industrial Complex: People, Science, Technology: Proceedings of the LVIII International Scientific and Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists*. Tyumen: SAU of the Northern Trans-Urals; 2024: 52–62. (In Russian).
  4. Doronina VG, Gulyakin DV. Sovremennye sistemy avtomatizirovannogo monitoringa zdanii [Modern Systems of Automated Monitoring of Buildings]. *Trends in the Development of Science and Education*. 2024;106-10: 31–34. (In Russian). DOI:10.18411/trnio-02-2024-547.
  5. Rogozina AE, Litvinova OV. Analiz sovremennogo programmno obespecheniya i perspektivy vnedreniya v massovoe stroitel'stvo [Analysis of Modern Software and Prospects for Implementation in Mass Construction]. *Youth Bulletin of IrSTU*. 2023;13(2): 425–431. (In Russian).
  6. Garibin PA, Olkhovik EO, Shabanov SV. Metodologiya organizatsii nepreryvno monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya GTS vodnogo transporta [Methodology for Organizing Continuous Monitoring of the Technical Condition of Water Transport Hydraulic Structures]. *Bulletin of Higher Educational Institutions. Construction*. 2015;2(674): 58–72. (In Russian).
  7. Gorokhova EI. Geomonitoring inzhenernykh sooruzhenii i prognozirovaniye ikh deformatsii po dannym lazernogo skanirovaniya [Geomonitoring of Engineering Structures and Forecasting Their Deformations Based on Laser Scanning Data]. *Vestnik SSUGT*. 2016;2(34): 65–72. (In Russian).
  8. Yambaev HK. Nekotorye aspekty tsifrovoi tekhnologii geodezicheskogo monitoringa i diagnostiki nesushchikh konstruksii unikal'nykh inzhenernykh sooruzhenii [Some Aspects of Digital Technology for Geodetic Monitoring and Diagnostics of Load-Bearing Structures of Unique Engineering Structures]. *Vestnik SSUGT*. 2018;23(3): 138–153. (In Russian).
  9. Gorbunov AYu. Podkhody k nablyudeniya za deformatsiyami inzhenernykh sooruzhenii kompleksom geodezicheskikh priborov [Approaches to Monitoring Deformations of Engineering Structures Using a Complex of Geodetic Instruments]. *Geology, Prospecting and Exploration of Minerals and Methods of Geological Research: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Geosciences-2019"*. Irkutsk: INRTU; 2019: 104–107. (In Russian).
  10. Gichaeva MM. Analiz i obobshchenie rezul'tatov issledovaniya sushchestvuyushchikh metodov opredeleniya deformatsii inzhenernykh ob'ektov [Analysis and Generalization of the Results of Studies of Existing Methods for Determining Deformations of Engineering Objects]. *Trends in the Development of Science and Education*. 2022;91-7: 141–144. (In Russian). DOI:10.18411/trnio-11-2022-368.
  11. Zaripova FZ, Knyazev AG, Kuznetsov ED. Kontrol' proizvodstva geometricheskogo nivelirovaniya pri monitoringe demontiruemogo mnogoetazhnogo zdaniya [Control of Geometric Leveling Production During the Monitoring of a Dismantled Multi-Story Building]. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2025;10(3(41)): 38–44. (In Russian). DOI:10.25744/genb.2025.3.41.006.


**AUTHORS** **Firuza Z. Zaripova**

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Yekaterinburg, Russia  
Department of Astronomy, Geodesy, Ecology and Environmental Monitoring,  
Institute of Natural Sciences and Mathematics  
 0009-0004-6792-925X

**Aleksey G. Knyazev**

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Yekaterinburg, Russia  
Department of Astronomy, Geodesy, Ecology and Environmental Monitoring,  
Institute of Natural Sciences and Mathematics  
 0009-0005-4294-862X

**Eduard D. Kuznetsov**

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Yekaterinburg, Russia  
Department of Astronomy, Geodesy, Ecology and Environmental Monitoring,  
Institute of Natural Sciences and Mathematics  
Dr. of Sci (Physics and Mathematics), Associate Professor  
 0000-0002-9760-0242

**Submitted: June 09, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.**



# Исследование комплексного использования традиционных и спутниковых технологий для передачи плановых координат на монтажный горизонт

Д.К. Жимагулов<sup>1,2</sup>✉, Х.Х. Насеретдин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

<sup>2</sup> Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве, Москва, Россия

✉ fazmatis@gmail.com

**ЦИТИРОВАНИЕ** Жимагулов Д.К., Насеретдин Х.Х. Исследование комплексного использования традиционных и спутниковых технологий для передачи плановых координат на монтажный горизонт // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 67–77. DOI:10.30533/GiA-2025-066.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** геодезическая разбивочная основа, передача координат на монтажный горизонт, прибор вертикального проектирования, глобальная навигационная спутниковая система, кинематика в реальном времени

**АННОТАЦИЯ** В данной статье описан способ передачи плановых координат на монтажный горизонт по схеме «прибор вертикального проектирования — глобальная навигационная спутниковая система». Такой способ подразумевает совместное применение прибора вертикального проектирования и спутникового оборудования. Предполагается использование не менее трех определяемых точек на монтажном горизонте. На каждой из них выполняются координатные определения спутниковым оборудованием в режиме кинематики в реальном времени. Плановые координаты одной из трех точек передаются на монтажный горизонт с помощью прибора вертикального проектирования. Для обеспечения достоверности результатов и исключения влияния конфигурации созвездия спутников исследование проводилось в четыре цикла, равноудаленные друг от друга во времени. В результате были выявлены основные ошибки в определении координат точек: координатный сдвиг, угловой разворот осей координатной сетки. Для данных ошибок, относящихся к координатным определениям спутникового оборудования, были предложены способы компенсации. Отдельно отмечается ошибка вычисления расстояния между двумя точками глобальной навигационной спутниковой системы, используемая для контроля грубых ошибок координатных определений. Данные, полученные в ходе исследования, подтверждают возможность применения рассматриваемого способа для строительства зданий и сооружений. Точность передачи отметок при этом составляет 3 мм.

# 1 Введение

В настоящее время наблюдается тенденция к увеличению этажности объектов гражданского строительства. Существующие способы геодезического обеспечения высокоэтажного строительства не соответствуют в полной мере текущим запросам строительных организаций: классический способ передачи отметок на монтажный горизонт прибором вертикального проектирования (ПВП) требует наличия специальных закладных деталей на уровне подвала и дополнительных технологических отверстий в плитах перекрытия [1]. Как правило, для реализации вышеуказанного способа требуется приостановка строительных работ. В связи с темпами строительства с помощью ПВП не всегда возможно передать на монтажный горизонт необходимое количество точек в один промежуток времени. Например, по различным причинам плита перекрытия может быть отсечена таким образом, что на ее смонтированную часть можно передать ПВП только одну точку, а соседние дома, на которых установлены классические марки, находятся под горизонтом плиты перекрытия. В целом возникает проблема сохранности закладных деталей для точек ПВП и технологических отверстий для передачи координат [2].

Использование спутниковых технологий при строительстве высокоэтажных зданий носит скорее исключительный характер. Глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС) задействуют при строительстве уникальных сооружений, таких как Башня Халифы в Дубае. Частично это связано с экономической целесообразностью, поскольку спутниковые технологии используют совместно с инклинометрами, и на объекте строительства предполагается наличие специальной лаборатории [3, 4]. Следует отметить, что при строительстве высокоэтажных зданий можно использовать ГНСС в режиме статика. Хотя такой способ обеспечивает необходимую точность, он требует значительного времени и постобработки результатов измерений [5].

Режим кинематики в реальном времени (*англ.* Real Time Kinematic, RTK) является более оперативным по сравнению со статикой, но не обеспечивает необходимую точность передачи плановых координат на монтажный горизонт [6, 7].

Согласно СП 126.13330.2017<sup>1</sup>, погрешность измерений при геодезическом контроле должна быть не более 0,2 величины отклонений, допускаемых нормативной документацией. В свою очередь, СП 70.13330.2012<sup>2</sup> устанавливает отклонение соосности вертикальных конструкций в 15 мм. Таким образом, точность передачи плановых координат на монтажный горизонт для вертикальных конструкций должна составлять 3 мм.

С учетом вышеизложенного возникает необходимость комбинации классического метода передачи плановых координат на монтажный горизонт (с помощью ПВП) с методом спутниковых координатных определений [8].

Анализируя зарубежные работы, следует выделить опыт китайских исследователей. В широком смысле рассматриваемый ими способ нельзя назвать в полной мере комбинированным, однако они использовали для корректировки результатов спутниковых определений базис с известной длиной, что, в свою очередь, способствовало достижению точности позиционирования до 5 мм относительно координат, полученных тахеометром [9].

Целью данной статьи является исследование комплексного использования традиционных и спутниковых технологий для передачи плановых координат на монтажный горизонт.

Подразумевается применение одной станции ПВП и ряда измерений ГНСС в режиме RTK. При реализации данного способа значительно экономится время работ и возрастает оперативность, поскольку достаточно только одной станции ПВП, в отличие от классического метода.

1 СП 126.13330.2017. СНИП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/17224/> (дата обращения: 10.10.2024).

2 СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/1888/> (дата обращения: 10.10.2024).

## 2 Материалы и методы

### 2.1 Объект исследования

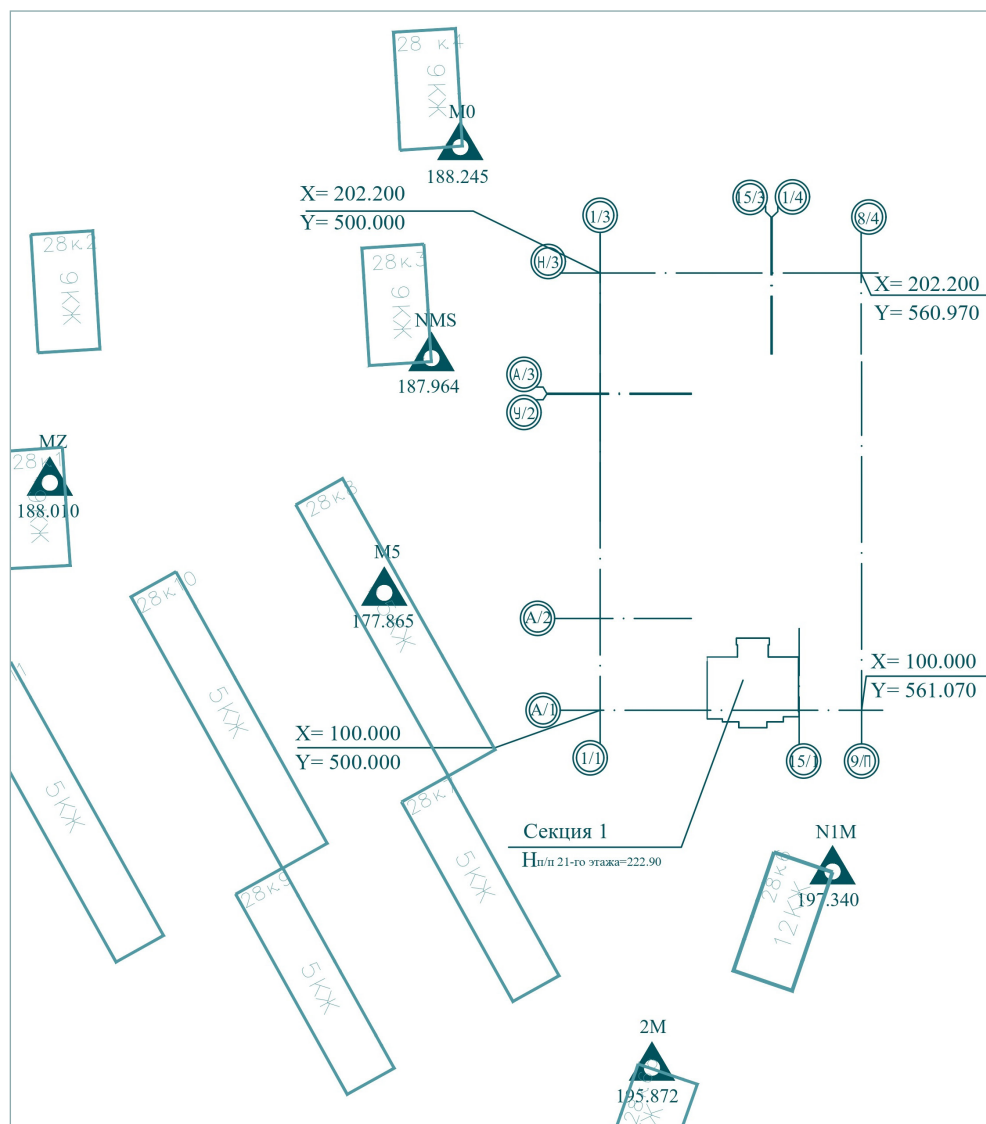
Исследование комплексного использования традиционных и спутниковых технологий для передачи плановых координат на монтажный горизонт проводилось в Восточном административном округе Москвы по адресу: Открытое шоссе, владение 28/3. Строительство дома осуществлялось по программе реновации. Возводимый объект имеет подземную автостоянку, семь секций с этажностью от 5 до 22. Исследования проводились на монтажном горизонте 21-го этажа первой секции.

Геодезическая разбивочная основа создавалась способом свободной станции. Пункты обоснования представляют собой геодезические марки, закрепленные на соседних домах (рис. 1). Общее количество пунктов обоснования – 6. Система координат условная, параллельная осям здания. Ноль здания – 161.100.

В целом проблема видимости марок возникала только на последних этажах: с 20-го на самых высоких секциях (первой и второй). Например, при разбивке стен возможность установки прибора более свободная. Можно установить тахеометр ближе к краю плиты, чтобы получить удовлетворительный угол между марками при засечке. При разбивке плиты такой возможности нет. Необходимо частично разбирать опалубку плиты перекрытия, чтобы обеспечить видимость марок.

**Рис. 1**   
Схема геодезической разбивочной основы

**Fig. 1**  
The scheme of the geodetic center base



## 2.2 Передача плановых координат на монтажный горизонт по схеме «прибор вертикального проектирования – ГНСС»

Как было указано ранее, целью статьи является комбинирование классического и спутникового методов передачи плановых координат. В качестве классического способа подразумевается вертикальное проецирование, а в качестве спутникового была выбрана кинематика в реальном времени. Точность современных ПВП при передаче планового положения точки составляет 1 мм на 100 м. Точность спутникового оборудования в режиме РТК — 8 мм + 1 мм на 1 км, в реальных условиях при работе от сети базовых станций точность будет составлять 15–25 мм.

Принимая во внимание точность спутникового оборудования в режиме РТК, следует выяснить, как эта погрешность себя проявляет: сохраняется ли расстояние между точками РТК, является ли погрешность определения координат систематической в рамках одного цикла наблюдений.

Главная гипотеза состоит в том, что возможно воссоздать геодезическую разбивочную основу на монтажном горизонте для последующих геодезических работ, имея только одну точку, полученную с помощью вертикального проецирования, и вспомогательные точки, координаты которых получены с помощью спутникового оборудования в режиме РТК. Предполагается компенсировать погрешность определения координат в режиме РТК посредством одной достоверно известной точки и контроля длин между вспомогательными точками РТК с помощью тахеометра.

Принципиальная схема геодезических работ при использовании вышеуказанного способа следующая:

- вертикальное проецирование одной точки с исходного горизонта на монтажный;
- определение плановых координат точки ПВП на монтажном горизонте и двух вспомогательных точек;
- контроль расстояний между точками с помощью тахеометра;
- нормализация треугольника;
- вычисление центральной точки треугольника;
- выполнение обратной геодезической засечки от точки ПВП и центральной точки фигуры для последующих геодезических работ по выносу характерных точек на монтажный горизонт.

## 3 Результаты и обсуждение

На строительном объекте в течение двух дней было выполнено 4 цикла измерений (один цикл утром и один — вечером).

Из трех точек был образован треугольник. Для понимания параметров треугольника (длин сторон и углов) его вершины (определяемые ровером точки) были сняты тахеометром.

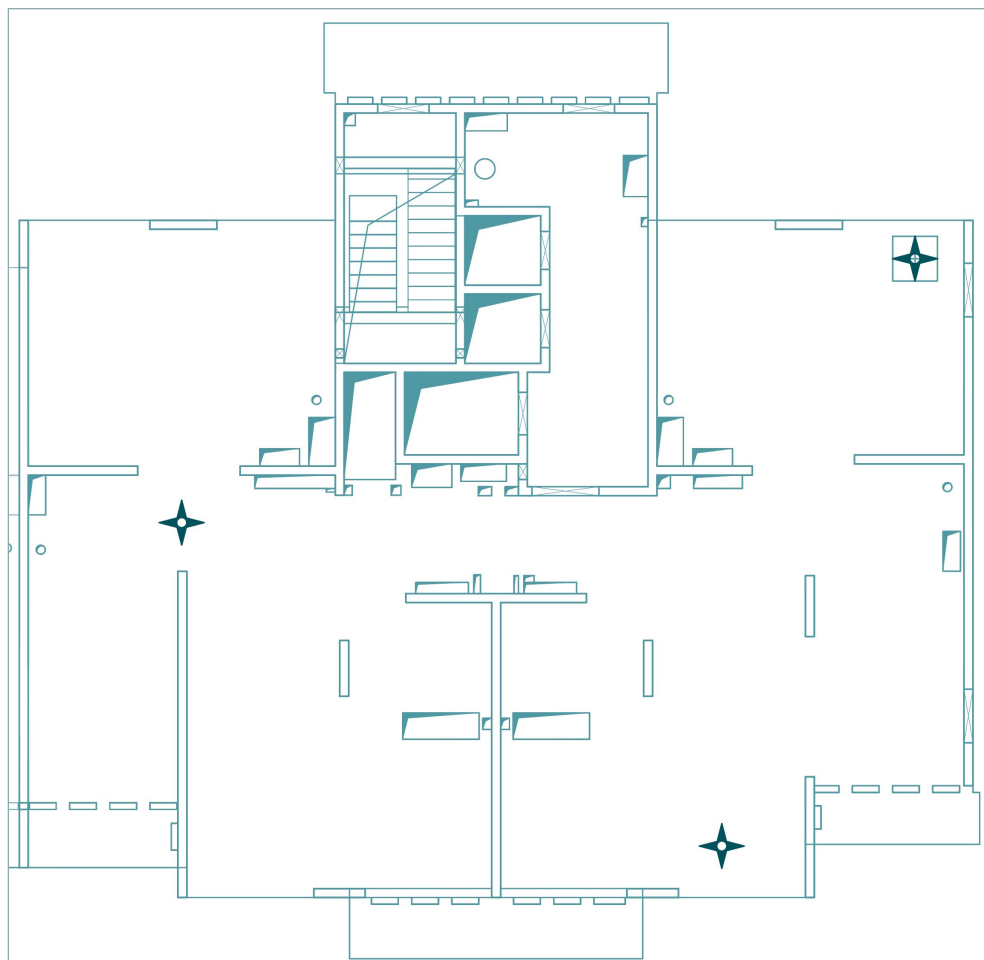
Как видно на рис. 2, координаты трех точек определяются при помощи ровера, на одну из трех точек также передавались координаты с исходного горизонта ПВП (далее — главная точка треугольника). Схожий принцип определения координат главной точки был реализован в исследовании [10], однако оно посвящено геодезическому мониторингу вертикальности высотных сооружений.

**Рис. 2** ➤

Схема определяемых точек на монтажном горизонте

**Fig. 2**

The diagram of the defined points on the installation horizon



**Условные обозначения**

- общая точка ПВП и ГНСС
- точка ГНСС

### 3.1 Отклонение длин сторон треугольника от эталона как предварительный контроль достоверности результатов ГНСС-измерений

На рис. 3 изображено эталонное значение треугольника и 4 цикла наблюдений ГНСС. Длины сторон, отклоняющиеся от эталона, выделены цветами: зеленым — для значений, не превышающих 6 мм, желтым — для отклонений до 15 мм, красным — для значений свыше 15 мм. Предполагается, что отклонение длины стороны треугольника от эталона, полученное в результате измерений ГНСС, может коррелировать с эталонным значением с точностью координатных определений спутникового оборудования и позволяет выявить грубые ошибки измерений.

Отклонение длин сторон треугольника от эталона для четырех циклов ГНСС-измерений отражено в табл. 1.

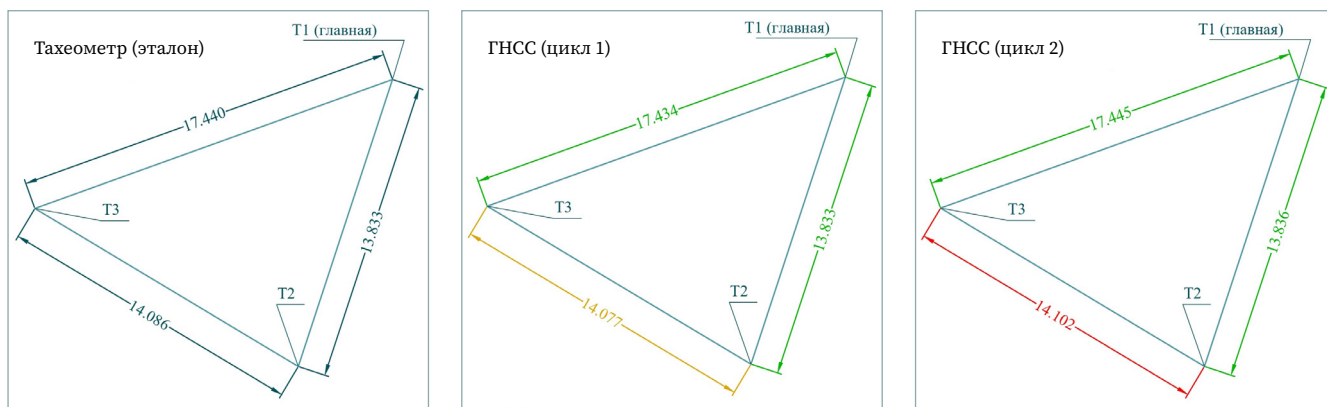
**Таблица 1** ➤

Отклонение длин сторон треугольника от эталона

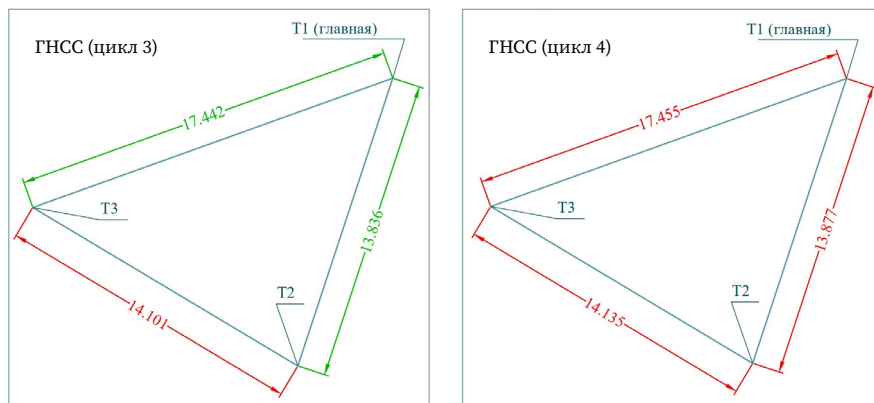
**Table 1**

Deviation of the triangle's side lengths from the standard

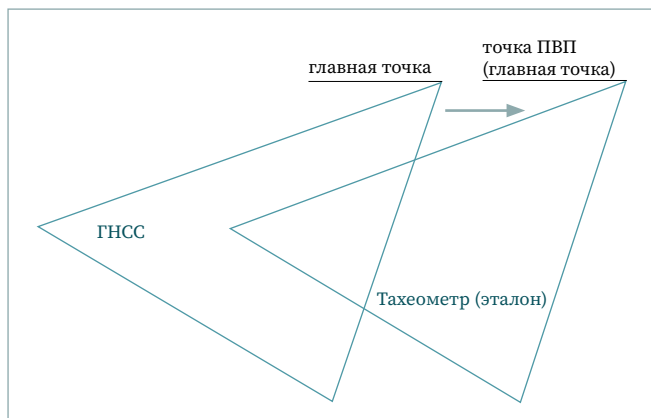
Цикл ГНСС-измерений	Отклонение длин сторон треугольника от эталона, мм
1	4–9
2	3–16
3	2–15
4	15–49



**Рис. 3** Эталонные параметры треугольника и циклы наблюдений спутниковым оборудованием  
**Fig. 3** Reference parameters of the triangle and cycles of observations by satellite equipment



**Рис. 4** Компенсация координатного сдвига  
**Fig. 4** Coordinate shift compensation



**Таблица 2** Распределение ошибки положения центральной точки фигуры относительно эталонного значения после компенсации ошибок

**Table 2** Distribution of the error in the position of the center point of the figure relative to the reference value after error compensation

Цикл ГНСС-измерений	$\Delta X$ , мм	$\Delta Y$ , мм
1	-2	-3,3
2	-2,8	-4
3	+4	+2,3
4	-4,2	+16

### 3.2 Ошибки определения координат вершин треугольника и способы их компенсации

Рассмотрим основные ошибки, возникающие при определении координат вершин треугольника. Это общий координатный сдвиг, т. е. габариты треугольника остаются в доверительных интервалах, но координаты главной точки сдвигаются от эталонного значения. Решается эта ошибка путем сдвига треугольника, полученного в результате ГНСС-измерений, к главной точке треугольника, к его эталонному положению, полученному с помощью ПВП (рис. 4).

Другую ошибку – разворот осей координатной сетки – частично можно компенсировать путем вычисления центральной точки треугольника и использованием в качестве пункта геодезической разбивочной основы ее, а не вершины треугольника.

На рис. 5 показаны центральная точка, отражающая эталонное положение точки центра фигуры, и четыре точки, каждая из которых соответствует циклу измерений ГНСС.

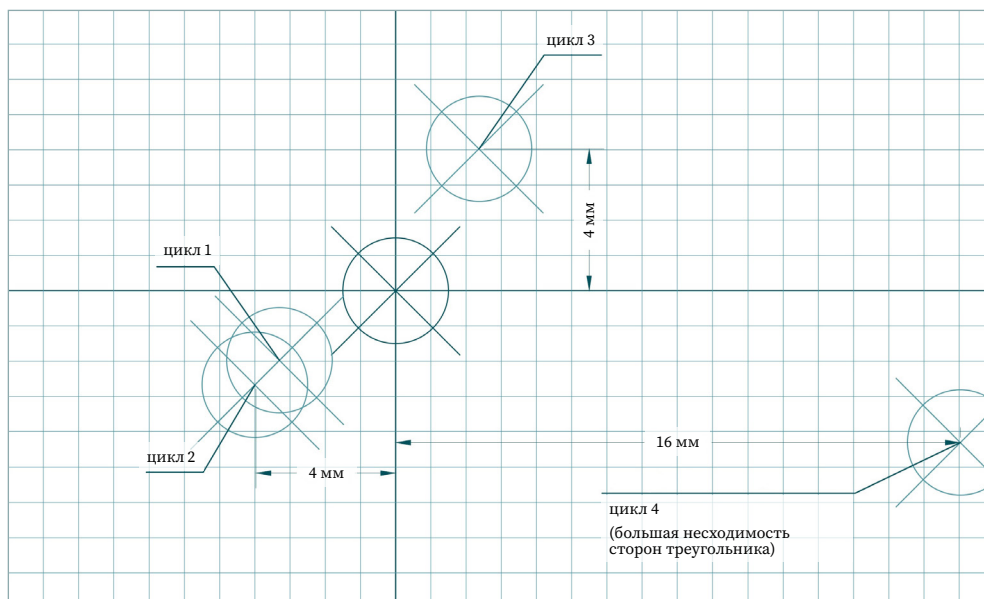
Уже на этом этапе после компенсации вышеуказанных ошибок удалось получить отклонения, превышающие эталонное значение не более чем на 4 мм (если стороны треугольников остаются в доверительных интервалах). Следует отметить, что в цикле 4 все стороны треугольника вышли за доверительный интервал (15–49 мм). Результаты отражены в табл. 2.

**Рис. 5** ➤

Результаты после компенсации ошибок

**Fig. 5**

Results after error compensation



### 3.3 Нормализация треугольника как дополнительный этап компенсации ошибок

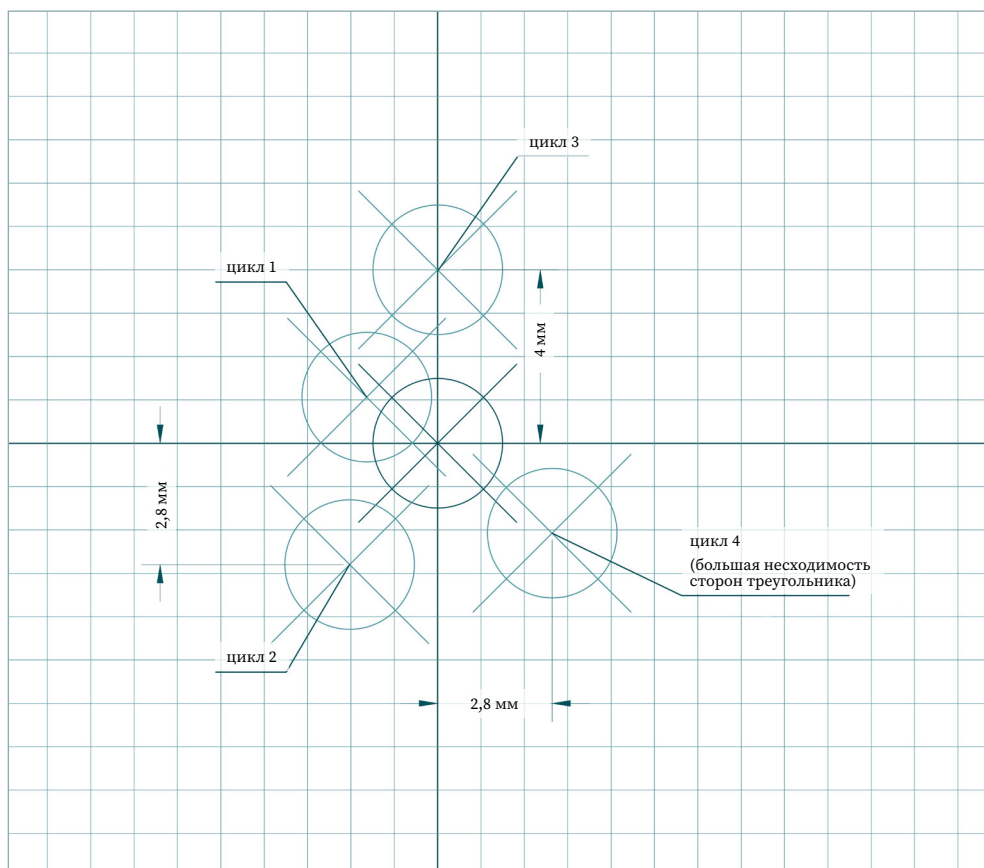
Под нормализацией треугольника понимается процесс приближения расстояния от центра фигуры, полученного в результате ГНСС-измерений, к значениям эталонного треугольника. Иначе говоря, при сохранении направления вершины треугольника от его центра вводилась поправка в расстояние между ними. После этого повторно вычислялась центральная точка фигуры. Результаты отражены на рис. 6.

**Рис. 6** ➤

Результаты после нормализации треугольников

**Fig. 6**

Results after normalization of triangles



**Таблица 3** 

Распределение ошибки положения центральной точки фигуры относительно эталонного значения после нормализации треугольников

**Table 3**

Distribution of the error of the position of the central point of the figure relative to the reference value after normalization of the triangles

Цикл ГНСС-измерений	$\Delta X$ , мм	$\Delta Y$ , мм
1	+1	-1,8
2	-2,8	-2
3	+4	0
4	-2	+2,8

После такой процедуры удалось достичь отклонения от эталонного значения в среднем 3 мм, и только четвертый цикл измерений с большим отклонением длины стороны треугольника от эталона показал результат в 4 мм (табл. 3).

В будущем на новом объекте строительства планируется провести апробацию результатов исследования, с первого этажа возводимого здания собирать материал для оценки точности рассмотренного способа.

## 4 Выводы

В данной работе проведено исследование комплексного использования классических и спутниковых технологий. Описан способ передачи плановых координат на монтажный горизонт по схеме «прибор вертикального проектирования — ГНСС». Ключевым преимуществом такого способа является необходимость использования только одной точки ПВП на монтажном горизонте, что, в свою очередь, экономит время, снижает трудозатратность и повышает оперативность при геодезических работах.

В качестве контроля грубых ошибок предложен способ контроля расстояний между точками с помощью тахеометра. С целью ослабления ошибок координатных определений спутниковым оборудованием рекомендуются способ нормализации треугольника и использование центральной точки фигуры.

Результаты исследования показывают возможность применения рассматриваемого способа при разбивке плит перекрытий, поскольку в таких условиях выбор мест для установки тахеометра ограничен, а требования к точности выноса горизонтальных конструкций менее строгие, чем для вертикальных.

### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Моисеев А.Г. Технологическая схема передачи координат на монтажные горизонты // Сборник материалов X Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»: в 2 т. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. С. 35–38.
2. Hui D. The Design and Implementation of High-Rise Building Construction Based on GPS Positioning Technology // Journal of Architectural Research and Development. 2018. Vol. 2. Iss. 1. P. 1–5. DOI:10.26689/jard.v2i1.262.
3. Яценко А.И., Евстафьев О.В., Брынь М.Я. Геоинформационное обеспечение возведения башни «Бурж Дубай» // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 25–28.
4. Нестеренок М.С. Альтернативные методы геодезического обеспечения строительства высотных зданий // Вестник Белорусского национального технического университета. 2009. № 6. С. 5–8.
5. Cheng Y., Zeng R., Guo S. GNSS Application in Construction Surveying of High-Rise Buildings with Frame Shear Wall Structures // Proceedings of 5th International Conference on Civil Engineering and Architecture. Singapore: Springer, 2023. P. 517–525. DOI:10.1007/978-981-99-4049-3\_41.
6. Ворошилов А.П., Шукин И.Ю. Передача осей на монтажные горизонты по координатам точек // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции: в 2 т. Челябинск: ЮУрГУ, 2013. Т. 1. С. 51–54.
7. Никонов А.В. Способы передачи координат на монтажные горизонты // Сборник материалов XIII Международного научного конгресса «Интерэкспо Гео-Сибирь»: в 2 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2017. Т. 1. С. 3–9.
8. Целовальников В.Г. Возможность применения спутниковых радионавигационных систем в современном строительстве // Записки Горного института. 2006. Т. 167, № 1. С. 153–155.
9. Yuan R., Cui X., Zhou Y., et al. GNSS Multibaseline Single-Epoch Millimeter-Level Positioning Method for Construction Survey of Superhigh-Rise Buildings //

Journal of Surveying Engineering. 2024. Vol. 150. Iss. 4. P. 04024010. DOI:10.1061/JSUED2.SUENG-1512.

10. Tran T.S. Geodetic Monitoring of High-Rise Structures According to Satellite Determinations // Proceedings of II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023). Les Ulis: EDP Sciences, 2023. Vol. 392. P. 02041. DOI:10.1051/e3sconf/202339202041.

**АВТОРЫ** **Жимагулов Дмитрий Киримович**

ГБУ «Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве», Москва, Россия;  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра геодезии, геодезический факультет

**Насереддин Хассан Хамадович**

✉ geo-gis25@mail.ru

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра геодезии, геодезический факультет  
канд. техн. наук, доцент

🆔 0009-0001-1806-7831

Поступила 16.10.2024. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# A Study of the Integrated Use of Traditional and Satellite Technologies for Transmitting Planned Coordinates to the Installation Horizon

Dmitriy K. Zhimagulov<sup>1,2</sup>✉, Hassan H. Nasreddin<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Center for Expertise, Research and Testing in Construction, Moscow, Russia

✉ fazmatis@gmail.com

**CITATION** Zhimagulov DK, Nasreddin HH. A Study of the Integrated Use of Traditional and Satellite Technologies for Transmitting Planned Coordinates to the Installation Horizon. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 67–77. DOI:10.30533/GiA-2025-066.

**KEYWORDS** geodesic control network, transmission of coordinates to the installation level, vertical projection device, global navigation satellite system, real-time kinematics

**ABSTRACT** This article describes a method for transferring the planned coordinates to the installation horizon according to the “vertical design device – GNSS” scheme. This method involves the joint use of a vertical design device and satellite equipment. It is assumed that at least three defined points on the installation horizon will be used. On each of them, coordinate determinations are performed by satellite equipment in real-time kinematics mode. The planned coordinates of one of the three points are transmitted to the installation horizon using a vertical projection device. To ensure the reliability of the results and to exclude the influence of the satellite constellation configuration, the study was conducted in four cycles, equidistant from each other in a time interval. As a result of the study, the main errors in determining the coordinates of points were identified: coordinate shift, angular rotation of the axes of the coordinate grid. The above errors relate to the coordinate definitions of satellite equipment. Ways to compensate for these errors have been proposed for each of them. Separately, it is worth noting the error in calculating the distance between two GNSS points. It was used to control gross errors in coordinate definitions. The data obtained during the study confirm the possibility of using this method for the construction of buildings and structures. The accuracy of transmitting marks in this way is 3 mm.

- REFERENCES**
1. Moiseev AG. Tehnologicheskaja shema peredachi koordinat na montazhnye gorizonty [Technological Scheme of Transfer of Coordinates on Assembling Horizons]. *Interexpo GEO-Siberia: Proceedings of X International Scientific Congress*. In 2 vols. Vol. 1. Novosibirsk: SSGA; 2014: 35–38. (In Russian).

2. Hui D. The Design and Implementation of High-rise Building Construction Based on GPS Positioning Technology. *Journal of Architectural Research and Development*. 2018;2(1): 1–5. DOI:10.26689/jard.v2i1.262.
3. Jashhenko AI, Evstaf'ev OV, Bryn' MI. Geoinformatsionnoe obespechenie vozvedeniya bashni "Burzh Dubai" [Geoinformation Support for the Construction of the Burj Dubai Tower]. *Housing Construction*. 2010;1: 25–28. (In Russian).
4. Nesterionok MS. Al'ternativnye metody geodezicheskogo obespecheniya stroitel'stva vysotnyh zdaniy [Alternative Methods for Geodetic Provision of High-Rise Building Construction]. *Bulletin of the Belarusian National Technical University*. 2009;6: 5–8. (In Russian).
5. Cheng Y, Zeng R, Guo S. GNSS Application in Construction Surveying of High-Rise Buildings with Frame Shear Wall Structures. *Proceedings of 5th International Conference on Civil Engineering and Architecture*. Singapore: Springer; 2023: 517–525. DOI:10.1007/978-981-99-4049-3\_41.
6. Voroshilov AP, Shhukin IJ. Peredacha osei na montazhnye gorizonty po koordinatam tochek [Transferring Axes to Mounting Horizons Using Point Coordinates]. *SUSU Science: Proceedings of 65th Scientific Conference*. In 2 vols. Vol. 1. Chelyabinsk: SUSU; 2013: 51–54. (In Russian).
7. Nikonov AV. Sposoby peredachi koordinat na montazhnye gorizonty [Methods to Coordinate Transfer on Assembly Level]. *Interexpo GEO-Siberia: Proceedings of XIII International Scientific Congress*. In 2 vols. Vol. 1. Novosibirsk: SSUGT; 2017: 3–9. (In Russian).
8. Celoval'nikov VG. Vozmozhnost' primeneniya sputnikovykh radionavigacionnykh sistem v sovremennom stroitel'stve [Possibility of Using Satellite Radio Navigation Systems in Modern Construction]. *Journal of Mining Institute*. 2006;167(1): 153–155. (In Russian).
9. Yuan R, Cui X, Zhou Y, et al. GNSS Multibaseline Single-Epoch Millimeter-Level Positioning Method for Construction Survey of Superhigh-Rise Buildings. *Journal of Surveying Engineering*. 2024;150(4): 04024010. DOI:10.1061/JSUED2.SUENG-1512.
10. Tran TS. Geodetic Monitoring of High-Rise Structures According to Satellite Determinations. *Proceedings of II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023)*. Les Ulis: EDP Sciences; 2023;392: 02041. DOI:10.1051/e3sconf/202339202041.

**AUTHORS** **Dmitriy K. Zhimagulov**

Center for Expertise, Research and Testing in Construction, Moscow, Russia;  
 Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
 Department of Geodesy, Faculty of Geodesy

**Hassan H. Nasreddin**

✉ geo-gis25@mail.ru

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: October 16, 2024. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Оценка изменения внутригодовой температуры земной поверхности Макажойской котловины (Чеченская Республика) по данным дистанционного зондирования Земли

**Р.Х. Бекмурзаева<sup>1</sup>✉, А.В. Комиссаров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Грозный, Россия

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
Новосибирск, Россия

✉ raya.bek@mail.ru

**ЦИТИРОВАНИЕ** Бекмурзаева Р.Х., Комиссаров А.В. Оценка изменения внутригодовой температуры земной поверхности Макажойской котловины (Чеченская Республика) по данным дистанционного зондирования Земли // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 78–86. DOI:10.30533/GiA-2025-055.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** температура воздуха, температура земной поверхности, дистанционное зондирование, тепловой канал, Макажойская котловина

**АННОТАЦИЯ** В статье приводится оценка изменения внутригодовой температуры земной поверхности (ТЗП) в пределах Макажойской котловины (Чеченская Республика) на основе данных тепловых каналов спутника Landsat. В Макажойской котловине располагается карбоновый полигон Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова, где отрабатываются технологии регенеративного животноводства, что требует получения разной информации, в том числе об изменении теплового поля и термического режима территории. При отсутствии систематических данных, характеризующих традиционные климатические параметры (прежде всего температуру воздуха), представление о пространственно-временных изменениях теплового режима позволяют получить данные дистанционного зондирования Земли, в частности снимки Landsat. Обработка снимков осуществляется посредством геоинформационной системы, в результате чего создаются растровые изображения, отражающие ТЗП на момент съемки. Снимки на соответствующие даты дают возможность определить изменение ТЗП по исследуемой территории за разные промежутки времени. Безоблачные снимки за 2023–2025 годы позволили оценить изменения внутригодовой ТЗП в пределах Макажойской котловины. В условиях сложного горного рельефа на тепловое поле в холодное время года большее влияние оказывают экспозиционные факторы, тогда как в теплое — высотные.

# 1 Введение

Одним из важных физических параметров, влияющих как на природные ландшафты, так и на возможности их освоения и использования, является температура — характеристика теплового состояния тела, т. е. кинетическая энергия его молекулярных движений. Географические исследования опираются на температуру воздуха у земной поверхности, измеряемую на метеорологических станциях термометром на высоте 2 м над поверхностью почвы. Температура воздуха постоянно изменяется, для нее характерен суточный и годовой ход, а также непериодические изменения, связанные с адвекцией воздушных масс. Наряду с температурой воздуха в метеорологии измеряется температура поверхности почвы, для чего используется термометр, лежащий открыто на поверхности почвы или снега. При этом методической проблемой является невозможность затенить термометр от действия радиации. Результаты изменений температуры (прежде всего воздуха), полученные на метеостанциях, далее подвергаются статистической обработке и пространственной интерпретации и находят свое отражение на климатических картах. Температуры воздуха на них отображаются в виде изолиний.

В последние десятилетия в связи с развитием дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и активным внедрением его данных появились, в частности, новые источники информации о тепловом режиме земной поверхности и объектах на ней. Примером таких источников являются каналы диапазона Thermal Infrared Sensor (TIRS)<sup>1</sup> спутника Landsat, которые измеряют температуру земной поверхности (ТЗП) [1] (*англ.* Land Surface Temperature). Под ТЗП понимается кинетическая энергия тонкого слоя на границе раздела между растительностью, застроенными территориями, дорогами и другими элементами земной поверхности, а также атмосферой [2]. TIRS собирает данные в двух тепловых и инфракрасных спектральных диапазонах: канале / диапазоне 10 (10,6–11,2 мкм) и канале / диапазоне 11 (11,5–12,5 мкм). В настоящее время для этих каналов доступно разрешение 30 м в пикселе, что позволяет использовать их для региональных исследований.

Данные диапазона TIRS фиксируют ТЗП на момент съемки и представляют собой растровые изображения, которые можно анализировать в среде геоинформационной системы и отображать в традиционной форме — в виде изолиний. В рассматриваемом случае это материалы, показывающие не многолетние климатические параметры, а срочные метеорологические, поскольку они привязаны ко времени съемки. Данные о температуре, получаемые традиционными наземными методами на метеостанциях, находят отражение в виде карт метеорологических и климатических параметров (в нашем случае температуры воздуха). Такие карты являются итогом статистической обработки рядов наблюдений за какой-то промежуток времени (обычно 30 лет), составляются на довольно обширные территории для января и июля и дают представление о климатических условиях того или иного региона.

Совместное использование данных наземных наблюдений и ДЗЗ определяется наличием на изучаемой территории метеорологических площадок, на которых проводятся измерения температуры воздуха. В таком случае возможна верификация данных, которая теоретически позволит перейти от данных о ТЗП к традиционным данным о температуре воздуха или температуре поверхности почвы. Однако для этого необходимо, чтобы метеорологические площадки находились на разных типах поверхностей, что реализуемо при заложении профилей. Проведение таких исследований не всегда возможно, но знание общих особенностей распределения температуры воздуха в зависимости от абсолютной высоты, экспозиции и крутизны склонов позволяет дать широкую географическую интерпретацию растровым данным, отражающим ТЗП. Представление об этих особенностях территории можно получить, используя цифровые модели рельефа.

1 Thermal Infrared Sensor (TIRS). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://science.nasa.gov/mission/landsat/tirs/> (дата обращения: 02.11.2025).

## 2 Материалы и методы

Макажойская котловина располагается в юго-восточной части Чеченской Республики на границе с Республикой Дагестан. Природные условия котловины довольно хорошо изучены, а характеристики приведены, в частности, в работе [3]. Этот географический объект представляет интерес также в связи с тем, что здесь располагается карбоновый полигон Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова, служащий плацдармом для отработки технологий регенеративного животноводства.

Макажойская котловина приурочена к тектонической депрессии и имеет по большей части хорошо выраженные границы, проходящие по хребтам: на севере — Кашкерлам, в пределах которого находится одноименная высшая точка котловины (2805 м); на востоке — отроги Гаготытлюры; на юго-востоке — безымянный хребет с вершиной Абдалзабизуль (2604 м). На юго-востоке выходом из котловины является каньон р. Ансалты. Юго-западной границей выступает хребет Хиндойлам, который на крайнем юго-западе резко уходит на север и далее от вершины Басхойлам (2594 м) поворачивает на запад-северо-запад до второго выхода из котловины, проходящего по ущелью р. Келой-Ахк — притока р. Шаро-Аргун. Далее водораздел выражен не столь отчетливо и уходит на северо-запад к хребту Кашкерлам. Отметки высот в пределах котловины изменяются от 1200 до 2800 м, а ее площадь составляет 144 км<sup>2</sup> (рис. 1).

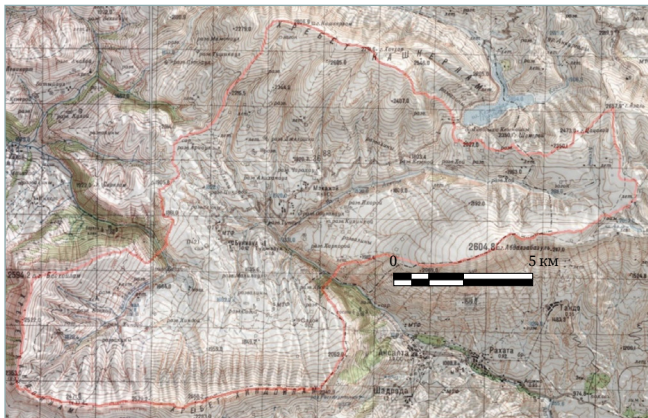
**Рис. 1** 

Географическое положение и границы Макажойской котловины

**Fig. 1**

Geographical location and boundaries of the Makazhoy basin

Топографическая карта (масштаб 1 : 200 000) /  
Topographic map (scale 1 : 200 000)



Космический снимок в естественных цветах /  
Satellite image in natural colors



В связи со столь значительным перепадом высот на изучаемой территории отмечается хорошо выраженная высотная поясность природных компонентов и комплексов. В целом здесь преобладают природные ландшафты, которые из-за особенностей рельефа и климата относятся к классу горных, а в его пределах здесь представлены три типа: высокогорные луговые (выше 1800–2000 м), горные холодно-умеренные (1600–2000 м) и горные умеренные семиаридные (1200–1800 м). В силу особенностей рельефа границы между ландшафтами представлены экотонами. Отличительным признаком котловины, связанным с ее высокой освоенностью до середины XX века, является террасированность.

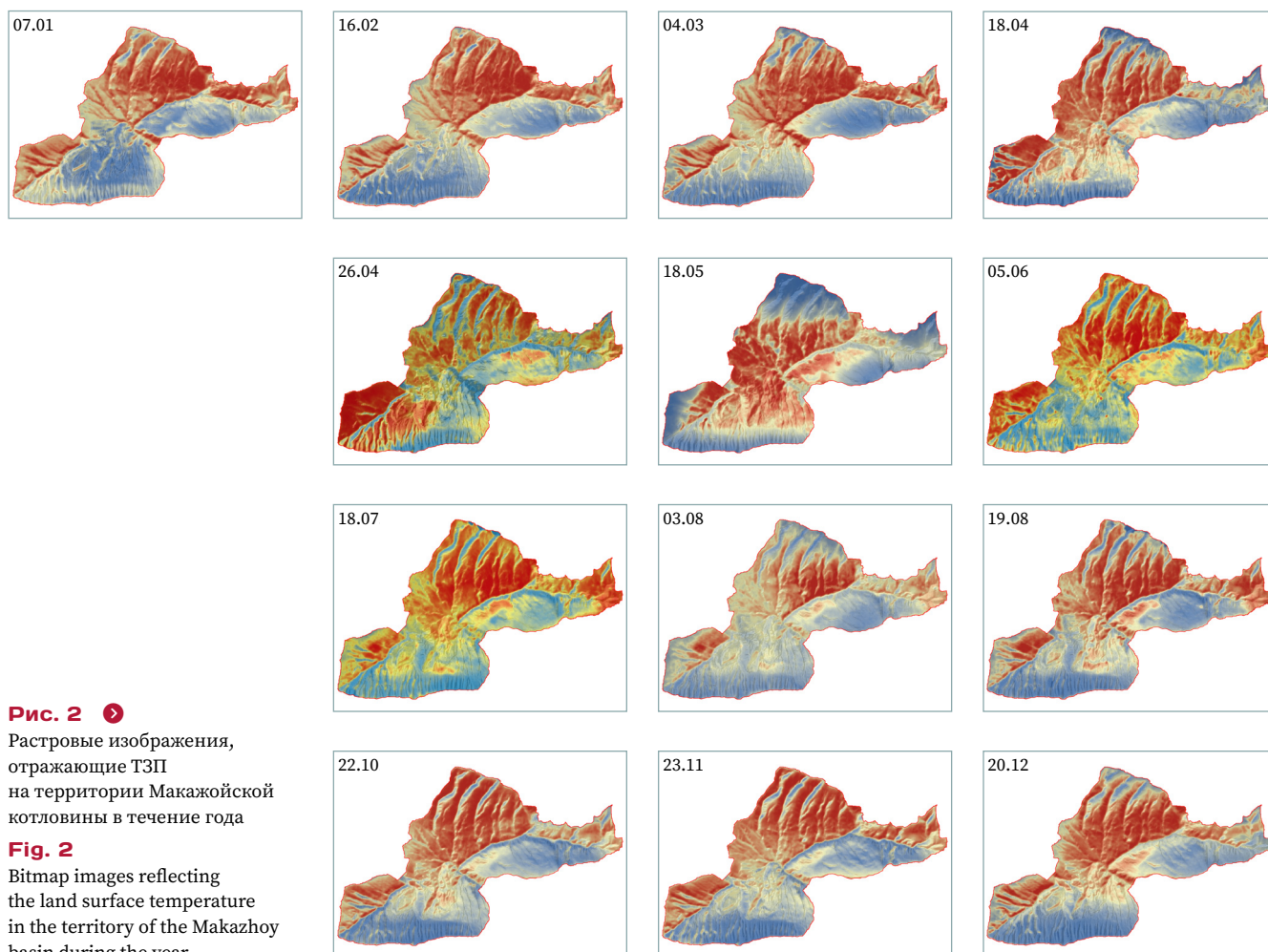
Для оценки изменения внутригодовой ТЗП на территории Макажойской котловины использовались данные Landsat 9 за 2022–2025 годы со временем съемки в период 07:36–7:38 (GMT). Первичные данные в виде наборов отдельных спектральных каналов имеются в открытом доступе на сайте Геологической службы США<sup>2</sup>. Для вычисления ТЗП необходимы данные в оптическом диапазоне, в связи с чем были отобраны снимки, на которых исследуемая территория не была покрыта облаками.


<sup>2</sup> EarthExplorer / United States Geological Survey. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 02.11.2025).

ТЗП определялась на основании канала 10, относящегося к категории SWIR и имеющего длину волны 10,6–11,2 мкм. Кроме него использовались также каналы 4 и 5, которые позволяют установить характер растительного покрова посредством спектрального / вегетационного индекса NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index). Методика обработки исходных данных в настоящее время отработана и широко апробирована [4–6], проводится по алгоритму с последовательным вычислением следующих параметров: а) первой спектральной светимости; б) преобразующейся из нее яркостной температуры; в) NDVI, вычисляемого для разделения поверхностей; г) определяемой по этому индексу доли растительности; д) излучательной способности поверхности Земли, а в итоге — ТЗП [7–10]. Данные вычисления осуществляются в среде геоинформационной системы (ArcGIS, QGIS) при помощи инструмента «Калькулятор растров». После обработки всей сцены посредством маски извлекается представляющий интерес регион. Для выявления особенностей пространственного распределения ТЗП в качестве подложки используется светотеневая отмывка рельефа.

### 3 Результаты

В результате обработки первичных материалов был создан набор растровых изображений, отражающий динамику изменения ТЗП Макажойской котловины в течение года (рис. 2). Как показала предварительная обработка, для выявления пространственных особенностей распределения ТЗП наиболее удобным при классификации является интервал  $4^{\circ}$ .



**Рис. 2**  Растровые изображения, отражающие ТЗП на территории Макажойской котловины в течение года

**Fig. 2** Bitmap images reflecting the land surface temperature in the territory of the Makazhoy basin during the year

## 4 Обсуждение

В соответствии с общими климатическими условиями региона холодное время года на данной территории продолжается с ноября по апрель. В зависимости от атмосферной циркуляции погодные условия могут приводить к частичному или полному сходу снежного покрова, чему способствуют местные ветры (*фёны*). Переходные сезоны года характеризуются циклональными погодами, в результате чего на территории Макажойской котловины часто отмечаются туманы. В теплое время года общий температурный фон нарушается циклонической деятельностью, которая приносит осадки и снижает температуру воздуха. Такие вторжения наиболее характерны для первой половины лета, когда осадки выпадают в виде ливней. Вторая половина лета чаще бывает сухой.

Особенности рельефа, выражающиеся в амплитуде высот, экспозиции и частично крутизне склонов на территории Макажойской котловины, обусловили поляризацию склонов: хорошо прогретые и сухие склоны южной экспозиции на правом борту р. Ахкете и левом борту р. Келой-Ахк и холодные и влажные склоны на противоположных бортах этих рек. В результате на одной и той же абсолютной высоте температуры в случае безоблачной погоды существенно различаются. Наличие затененных участков, приуроченных к днищам ущелий, приводит к формированию температурных аномалий. Еще одной особенностью, которая влияет на распределение ТЗП, является значительный массив выходов коренных пород (известняков) на южном борту долины.

В январе указанная поляризация склонов выражена довольно отчетливо, при этом на северном макросклоне температура повсеместно отрицательная (до  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), тогда как на южном отмечаются ее существенные различия. В верхнем и среднем течении р. Ахкете температуры положительные (до  $+8\text{...}+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), за исключением наиболее высоких частей с глубоко врезанными долинами, где ТЗП сопоставима с ТЗП на противоположных склонах даже на более низких высотных отметках. Отрицательные температуры на южных макросклонах приурочены к участкам с наименьшей крутизной.

В феврале общая картина распределения ТЗП принципиально не отличается от январской за исключением того, что ее минимальные значения на северных склонах в наиболее возвышенных частях достигают  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при этом ареал положительных значений на южном склоне расширяется по сравнению с январем и поднимается на более высокие гипсометрические уровни, а собственно температуры также составляют  $+8\text{...}+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В марте общий температурный фон снижается по сравнению с февралем: от  $-25$  до  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а участки с положительными температурами отмечаются только в долине р. Ахкете, т. е. приурочены к наиболее низким отметкам рельефа.

В середине апреля отрицательные температуры (до  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) свойственны лишь наиболее возвышенным частям, а вся остальная часть котловины характеризуется положительными значениями, которые достигают  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Наиболее низкие положительные значения приурочены как к прилегающим высокогорным частям хребтов, так и к северному затененному борту долины р. Ахкете. Заметно также пространственное сглаживание температурного фона. В конце апреля, очевидно в связи с антициклональной погодой, температуры продолжают повышаться, в результате минимальные значения поднимаются до  $+10\text{...}+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а максимальные — до  $+32\text{...}+36\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но при этом пространственный максимум смещается с правого борта р. Ахкете на восточный склон хребта Хиндой.

В мае, очевидно после холодного вторжения, ТЗП падает: в наиболее возвышенных частях она становится отрицательной (до  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), постепенно повышаясь к наиболее низким частям и южным экспозициям, где достигает  $+16\text{...}+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Особенностью пространственного распределения ТЗП является типичный «котловинный» характер: он закономерно повышается снизу вверх с учетом небольших вариаций по склонам.

Начало лета связано с общим прогревом, в результате чего на всей территории отмечаются положительные ТЗП со слабо выраженной асимметрией между северным и южным макросклонами. В июле характер пространственного

распределения ТЗП существенно не меняется, но максимум температур достигает +28... +32 °С. В начале августа основной остров тепла располагается на южных склонах среднего течения р. Ахкете, где ТЗП достигает +36... +40 °С. Минимум температур связан с наиболее возвышенными частями хребтов на всей территории. В середине августа продолжается процесс прогрева территории, при этом максимальные температуры не повышаются, но увеличивается ареал, где ТЗП составляет +24... +32 °С.

В сентябре для данной территории характерна циклональная погода, поэтому сложно оценить, с какой скоростью происходит остывание земной поверхности. Во второй половине октября слабые отрицательные ТЗП характерны для наиболее возвышенных частей Макажойской котловины, а наиболее прогретые части (до +20... +24 °С) отмечаются в довольно возвышенных частях правого борта долины р. Ахкете. В ноябре, очевидно со значительным промежутком антициклональной погоды, наблюдается прогрев территории, в результате чего максимальные температуры достигают +28... +32 °С в средней части южного склона долины р. Ахкете, а минимальные температуры характерны для северного макросклона котловины. Декабрьское распределение ТЗП характеризуется снижением температуры до -12... -16 °С в наиболее возвышенных частях и на северном макросклоне и острове тепла в среднегорной части южного склона р. Ахкете.

## 5 Выводы

ТЗП, определяемая посредством данных ДЗЗ, является дополнительным важным источником информации, позволяющим установить тепловой режим территории и его динамику при отсутствии данных метеорологической сети, а при их наличии — существенно дополнить их, получить актуальную и достоверную модель температурного поля соответствующей территории. В отличие от данных метеорологической сети, ТЗП дает картину не среднего, а срочного распределения теплового поля, т. к. привязана ко времени съемки. Применение каналов в видимой части спектра позволяет оценить пространственное распределение теплового поля лишь при антициклональной погоде (безоблачное небо), когда отмечается существенное разнообразие температурных условий. При циклональной погоде, по данным наземных наблюдений за температурой воздуха, происходит сглаживание теплового поля, однако пространственные особенности сложно определить указанным методом.

Анализ пространственно-временного изменения внутригодовой ТЗП на территории Макажойской котловины позволил выявить разные варианты распределения теплового поля. В холодное время года чаще отмечается поляризация ТЗП, обусловленная особенностями рельефа, прежде всего экспозицией. В теплое время года различия сохраняются, но сглаживаются. Полученные данные могут быть использованы для целей тематического картографирования, оптимизации природопользования и территориального планирования, для организации мероприятий, сводящих к минимуму ущерб от тех природных катаклизмов, которые наблюдаются в последнее время в связи с глобальными изменениями климата как в отдельных регионах, так и в целом на планете.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова FECS-2023-0008.

### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Barsi J., Lee K., Kvaran G., et al. The Spectral Response of the Landsat-8 Operational Land Imager // *Remote Sensing*. 2014. Vol. 6. Iss. 10. P. 10232–10251. DOI:10.3390/rs61010232.
2. Li L., Wu H., Duan B., et al. Satellite Remote Sensing of Global Land Surface Temperature: Definition, Methods, Products, and Applications // *Reviews of Geophysics*. 2023. Vol. 61. Iss. 1. P. 1–77. DOI:10.1029/2022RG000777.

3. Бекмурзаева Р.Х., Скрыпицына Т.Н., Братков В.В. и др. Морфометрические характеристики рельефа Макажойской котловины (Чеченская Республика) // Мониторинг. Наука и технологии. 2024. № 1(59). С. 47–54. DOI:10.25714/MNT.2024.59.007.
4. Dissanayake D., Morimoto T., Murayama Y., et al. Impact of Landscape Structure on the Variation of Land Surface Temperature in Sub-Saharan Region: A Case Study of Addis Ababa Using Landsat Data (1986–2016) // Sustainability. 2019. Vol. 11. Iss. 8. P. 2257. DOI:10.3390/su11082257.
5. Anandababu D., Purushothaman B.M., Suresh Babu S. Estimation of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Data // International Journal of Advance Research in Technology. 2018. Vol. 4. Iss. 2. P. 177–186.
6. Opelele O., Yu Y., Fan W., et al. Analysis of the Impact of Land-Use / Land-Cover Change on Land-Surface Temperature in the Villages within the Luki Biosphere Reserve // Sustainability. 2012. Vol. 13. Iss. 20. P. 11242. DOI:10.3390/su132011242.
7. Sekertekin A., Bonafoni S. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. Iss. 2. P. 294. DOI:10.3390/rs12020294.
8. Сереке Т.Э., Тесфай Т., Братков В.В. и др. Мониторинг влияния на температуру поверхности суши динамики землепользования, изменения растительного покрова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2024. Т. 25, № 3. С. 308–318. DOI:10.22363/2312-8143-2024-25-3-308-318.
9. Сереке Т.Э., Братков В.В. Изменения в использовании земель в 2012–2022 годах и их влияние на температуру поверхности Земли по космическим снимкам (на примере г. Мендеферы, Государство Эритрея) // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68, № 3. С. 26–41. DOI:10.30533/GiA-2024-020.
10. Сереке Т.Э., Братков В.В., Тесфай Т. Анализ землепользования и температуры поверхности Земли по спутниковым изображениям города Мендефера // Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 5. С. 69–79. DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-5-69-79.

**АВТОРЫ** **Бекмурзаева Рашия Хамзатовна**


ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова»,  
Грозный, Россия  
кафедра экологии и природопользования, факультет географии и геоэкологии  
канд. экон. наук, доцент

 0000-0001-5936-7235

**Комиссаров Александр Владимирович**

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

д-р техн. наук, доцент

 0000-0003-2625-2997

**Поступила 08.11.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.**



# Assessment of Changes in the Annual Temperature of the Earth's Surface in the Makazhoy Basin (Chechen Republic) Based on Remote Sensing Data

Rashiya Kh. Bekmurzaeva<sup>1</sup>✉, Alexander V. Komissarov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russia

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

✉ raya.bek@mail.ru

**CITATION** Bekmurzaeva RKh, Komissarov AV. Assessment of Changes in the Annual Temperature of the Earth's Surface in the Makazhoy Basin (Chechen Republic) Based on Remote Sensing Data. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 78–86. DOI:10.30533/GiA-2025-055.


**KEYWORDS** air temperature, earth surface temperature, remote sensing, thermal channel, Makazhoy basin

**ABSTRACT** The purpose of the study is to estimate the change in the annual temperature of the Earth's surface within the Makazhoy basin (Chechen Republic) based on data from the thermal channels of the Landsat satellite. The carbon landfill of the Kadyrov CHSU is located in the Makazhoy basin, where regenerative animal husbandry technologies are being developed, which requires a variety of information, including changes in the thermal field and thermal regime of the territory. In the absence of systematic data characterizing traditional climatic parameters, primarily air temperature, an idea of spatiotemporal changes in the thermal regime makes it possible to obtain data from remote sensing of the Earth, in particular, Landsat images. Their processing is carried out using GIS, as a result of which bitmap images are created that reflect the temperature of the Earth's surface at the time of shooting. The images on the corresponding dates allow us to estimate the change in the TPP both over different time periods and over the studied area. Cloudless images from 2023–2025 made it possible to estimate changes in the annual temperature of the Earth's surface within the Makazhoy basin. In conditions of difficult mountainous terrain, the thermal field is more influenced by exposure factors in the cold season, while in the warm season it is influenced by altitude factors.


**ACKNOWLEDGEMENTS** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Kadyrov Chechen State University FECS-2023-0008.

- REFERENCES**
1. Barsi J, Lee K, Kvaran G, et al. The Spectral Response of the Landsat-8 Operational Land Imager. *Remote Sensing*. 2014;6(10): 10232–10251. DOI:10.3390/rs61010232.
  2. Li L, Wu H, Duan B, et al. Satellite Remote Sensing of Global Land Surface Temperature: Definition, Methods, Products, and Applications. *Reviews of Geophysics*. 2023;61: 1–77. DOI:10.1029/2022RG000777.
  3. Bekmurzayeva RH, Skrypitsyna TN, Bratkov VV, et al. Morfometricheskie kharakteristiki rel'efa Makazhoiskoi kotloviny (Chechenskaya Respublika) [Morphometric Characteristics of the Relief of the Makazhoy Basin (Chechen Republic)]. *Monitoring. Science and Technology*. 2024;1(59): 47–54. (In Russian). DOI:10.25714/MNT.2024.59.007.
  4. Dissanayake D, Morimoto T, Murayama Y, et al. Impact of Landscape Structure on the Variation of Land Surface Temperature in Sub-Saharan Region: A Case Study of Addis Ababa Using Landsat Data (1986–2016). *Sustainability*. 2019;11(8): 2257. DOI:10.3390/su11082257.
  5. Anandababu D, Purushothaman BM, Suresh Babu S. Estimation of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Data. *International Journal of Advance Research in Technology*. 2018;4: 177–186.
  6. Opelele O, Yu Y, Fan W, et al. Analysis of the Impact of Land-Use / Land-Cover Change on Land-Surface Temperature in the Villages within the Luki Biosphere Reserve. *Sustainability*. 2012;13(20): 11242. DOI:10.3390/su132011242.
  7. Sekertekin A, Bonafoni S. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation. *Remote Sensing*. 2020;12(2): 294. DOI:10.3390/rs12020294.
  8. Sereke TE, Tesfay T, Bratkov VV, et al. Monitoring vliyaniya na temperaturu poverkhnosti sushi dinamiki zemlepol'zovaniya, izmeneniya rastitel'nogo pokrova [Dynamics of Land Use, Land Cover Changes and Their Impacts on Land Surface Temperature Using Satellite Imagery]. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2024;25(3): 308–318. (In Russian). DOI:10.22363/2312-8143-2024-25-3-308-318.
  9. Sereke TE, Bratkov VV. Izmeneniya v ispol'zovanii zemel' v 2012–2022 godakh i ikh vliyanie na temperaturu poverkhnosti Zemli po kosmicheskim snimkam (na primere g. Mendefery, Gosudarstvo Eritreya) [Land Use / Land Cover Changes and Their Effects on Land Surface Temperature Using Space Images (by the Example of Mendefera, Eritrea, 2012–2022)]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveyin*. 2024;68(3): 26–41. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2024-020.
  10. Sereke TE, Bratkov VV, Tesfay T. Analiz zemlepol'zovaniya i temperatury poverkhnosti Zemli po sputnikovym izobrazheniyam goroda Mendefera [Analysis of Land Use and Surface Temperature from Satellite Images of the City of Mendefera]. *Vestnik SSUGT*. 2024;29(5): 69–79. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-5-69-79.

**AUTHORS** **Rashiya K. Bekmurzaeva**

Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russia  
 Department of Ecology and Nature Management, Faculty of Geography and Geoecology  
 PhD in Economics, Associate Professor  
 0000-0001-5936-7235

**Aleksandr V. Komissarov**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia  
 Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Institute of Geodesy and Management  
 Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor  
 0000-0003-2625-2997

Submitted: November 08, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Описание объектов наблюдения в задачах планирования космической съемки

**В.В. Зайцев**<sup>1</sup>✉

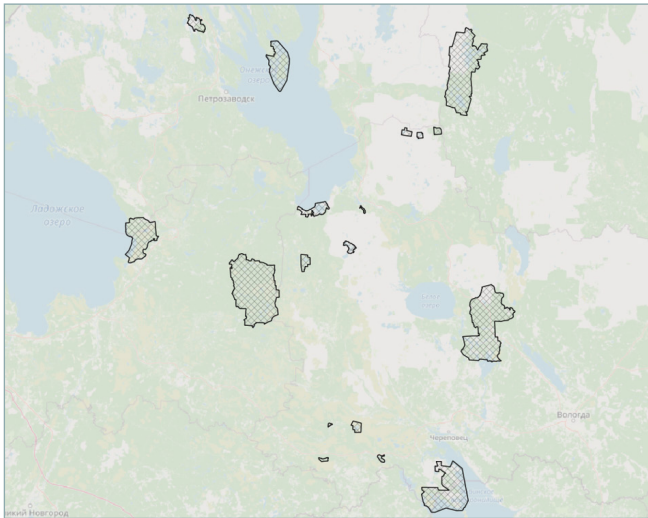
<sup>1</sup> Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия  
✉ vka@mil.ru

**ЦИТИРОВАНИЕ** Зайцев В.В. Описание объектов наблюдения в задачах планирования космической съемки // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 87–99. DOI:10.30533/GiA-2025-060.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** дистанционное зондирование Земли, планирование съемки, объект наблюдения, режим съемки, свойства полигона

**АННОТАЦИЯ** В настоящее время активно развиваются космические многорежимные системы наблюдения поверхности Земли, вследствие чего необходимо совершенствовать методы планирования космической оптико-электронной и радиолокационной съемки. Повышаются требования к точности наведения съемочной системы для протяженных, криволинейных и площадных районов, однако вопросы эффективного описания исходных данных для задания объектов наблюдения практически не исследованы. Предлагаемая статья посвящена анализу и разработке расчетных моделей для характеристики геометрических особенностей объектов в задачах планирования съемки современных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Рассмотрены основные характеристики объектов наблюдения в задачах планирования, а также факторы, влияющие на точность получаемых результатов. В статье показано, что определение геометрических размеров объекта зависит от применяемой проекции, в которой представлены исходные данные. Для получения точных результатов и сокращения расчетов предлагается применять локальную косую цилиндрическую проекцию с параметрами для каждого объекта. Предложена методика расчета параметров проекций и основные соотношения для вычислений. Представлены способы расчета геометрического центра объекта, угла ориентации векторного полигона, геометрических размеров объекта и метод расчета граничных описательных рамок. Результаты работы можно использовать для планирования съемки в современных режимах наблюдения высокоточной аппаратурой, на больших площадях, для продолжительных маршрутных включений, а также для составления планов применения группировки космических аппаратов с реализацией в современных геоинформационных системах.

# 1 Введение



**Рис. 1** 

Пример объектов наблюдения сложной конфигурации (особо охраняемые территории северо-запада России)

**Fig. 1**

An example of observation objects with an arbitrary configuration (specially protected areas of north-west Russia)

Современные системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса с высоким и сверхвысоким разрешением характеризуются достаточно малой полосой захвата съемочной аппаратуры, что усложняет решение задач съемки объектов наблюдения в интересах ряда потребителей космических данных.

В общем случае объекты наблюдения могут иметь сложную конфигурацию. Например, кроме обычных точечных целей это могут быть также линейно-протяженные или площадные объекты: зоны экологического мониторинга значительных по площади регионов, границы и линии соприкосновения государств в условиях постоянно возникающих вооруженных конфликтов, протяженные инженерные и технологические объекты, территории стихийных бедствий и техногенных аварий (рис. 1).

Это вынуждает выполнять многомаршрутную съемку объектов наблюдения одним космическим аппаратом (КА) или несколькими КА из состава группировки для покрытия требуемой площади несколькими смежными снимками с заданным перекрытием.

В настоящее время такие решения поддерживаются развитием технических и баллистических возможностей съемочных систем на базе современных КА ДЗЗ, которые характеризуются высокой производительностью и оперативностью съемки площадных объектов. Это достигается:

- совместным применением КА с датчиками, работающими в различных диапазонах спектра, в том числе оптическом и радиолокационном;
- задействованием многорежимных систем, способных выполнять детальную и обзорную съемку одним комплектом съемочной аппаратуры;
- использованием группировок из нескольких КА для увеличения частоты просмотра объектов и размеров территорий мониторинга;
- внедрением режимов съемки КА с двумя и тремя степенями свободы вращения съемочной камеры, позволяющими выполнять динамическую съемку с произвольным азимутом относительно подспутниковой трассы и с сохранением качества получаемых изображений.

В таких условиях становится актуальной задача планирования съемки объектов наблюдения в сложных режимах наблюдения для покрытия района наблюдения узкой полосой захвата без пропуска и с минимальными межмаршрутными перекрытиями. При этом планирование космической съемки (особенно несколькими КА ДЗЗ) представляет собой многокритериальную задачу: необходимо выбрать оптимальные параметры ориентации каждого КА группировки в момент съемки и сформировать маршруты с шириной полосы захвата, обеспечивающей наблюдение наибольшей площади за заданное время с учетом накладываемых ограничений в виде свойств получаемых снимков.

В качестве исходной информации для планирования космической съемки используются параметры орбитального построения КА, параметры съемочной аппаратуры, требования к качеству получаемой информации, а также сведения о районах наблюдения.

В то же время большинство существующих разработок в области планирования применения спутниковых систем ДЗЗ сводится к оптимизационным задачам, решение которых в основном представляет собой поиск стратегии управления бортовой аппаратурой КА, позволяющей при соблюдении ограничений съемки достичь наилучшей эффективности системы наблюдения на заданном временном интервале планирования [1–3]. При этом практически не исследованы вопросы эффективного описания параметров объектов наблюдения, таких как координаты его геометрического центра, ориентация

относительно меридиана, протяженность, ширина и площадь, которые являются исходными данными для любой задачи планирования. Обычно используются стандартные функциональные возможности ГИС-приложений, позволяющих представить объект векторными моделями в виде набора географических координат точек полигона [4], и его разделение маршрутами съемки выполняется в криволинейных угловых координатах. Однако при этом не рассматриваются погрешности из-за особенностей применения равнопромежуточных картографических проекций на больших территориях или в районе полюсов, что отмечается, например, в работах [5, 6].

Таким образом, разработка научно-методического аппарата описания геометрических свойств объектов съемки, оценка их влияния на результаты планирования являются актуальными. Цель настоящего исследования состоит в определении таких методов расчета параметров объектов, которые позволили бы выполнять планирование съемки современными системами ДЗЗ, в том числе с применением новых режимов работы целевой аппаратуры, независимо от протяженности, расположения на поверхности Земли и конфигурации контура заданного района наблюдения относительно подспутниковой трассы. Для достижения указанной цели предполагается решить частные задачи: определить перечень свойств объекта наблюдения для планирования съемки, требований к ним; разработать методики расчета параметров специализированной картографической проекции. Для решения данных задач необходимы алгоритмы компьютерной графики и обработки пространственных данных в ГИС, элементы математической картографии.

## 2 Материалы и методы

### 2.1 Характеристики объекта наблюдения

Для описания объектов наблюдения используется набор статических и динамических параметров. Статические параметры не изменяются в процессе планирования съемки. К ним относятся:

- наименование, класс, идентификатор в базе данных объектов;
- координаты центра объекта  $(x_m, y_m)$  и среднее превышение над поверхностью земного эллипсоида  $(h_m)$ ;
- векторные данные в виде набора координат граничного полигона района наблюдения

1 

$$R = \{(x_i, y_i)\},$$

где  $i \in [0, N - 1]$ ,  $N$  — количество вершин полигона;

- цифровая модель рельефа в пределах граничного полигона.

Динамические параметры изменяются во времени при формировании опорного плана съемки, долгосрочном, оперативном планировании, разработке рабочей программы. К динамическим параметрам относят:

- векторный слой текущего покрытия съемкой (полигоны с идентификатором объекта);
- приоритет объекта;
- параметры съемки для объекта (режим работы съемочной аппаратуры, разрешение, угол обзора);
- уровень облачности и освещенности для систем оптического диапазона;
- предельные частотные параметры отраженных сигналов для радиолокатора с синтезированной апертурой антенны.

Параметры объектов хранятся в формате, удобном для программного обеспечения планирования. Это могут быть одиночные векторные слои, как правило полигональные, либо таблицы геореляционной базы данных с соответствующими атрибутивными полями.

На этапе планирования съемки описываются границы объектов наблюдения в определенной системе координат. Исходное координатное описание может выполняться:

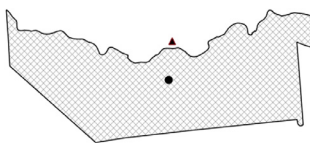
- в географических координатах (широта, долгота);
- в прямоугольных координатах глобальной системы координат (например, веб-Меркатора и аналогичных);
- в прямоугольных координатах зональной системы координат (проекция Гаусса — Крюгера, UTM).

Определим основные правила задания геометрического описания для полигонального слоя объектов:

- однопартийность (полигон не должен быть сложным и должен состоять только из одного пространственного объекта, соответственно, в нем должны отсутствовать части с оцифровкой в обратном направлении — отверстия);
- топологическая правильность (границы полигона не должны пересекаться);
- упрощенность границ и выпуклость полигона.

Последнее требование не обязательно, но позволяет сократить вычисления и получить более предсказуемые результаты при планировании. Для предварительной обработки данных, упрощения полигонов и уменьшения количества точек границ можно использовать стандартные функции программного обеспечения геоинформационных систем (ПО ГИС) для генерализации. Например, алгоритм Дугласа — Пекера (D. Douglas, T. Peucker)<sup>1</sup> для упрощения границ, алгоритм Грэхема (R. Graham)<sup>2</sup> для создания выпуклых оболочек многоугольников. В качестве параметра сглаживания (расстояния, на котором будут удалены и прорежены вершины) можно использовать мгновенный минимальный размер полосы захвата съемочной аппаратуры.

## 2.2 Определение центра полигона объекта планирования



**Рис. 2** ↑  
Положение центра полигона

**Fig. 2**  
Position of the polygon center

**Условные обозначения**

- ▲ геометрический центр, смещенный в сторону максимальной концентрации вершин
- центроид полигона

2 ➔

3 ➔

Положение центральной точки — это начало «внутренней системы координат» объекта. Относительно нее рассчитываются остальные параметры и характеристики объекта наблюдения: главный угол и геометрические размеры.

Центр полигональной фигуры объекта позволяет определить точку наведения съемочной аппаратуры для тех случаев, когда размеры объекта меньше полосы захвата. Хотя нахождение центра полигона является стандартной задачей для геоинформационных приложений и систем технического зрения, его практическое определение вызывает известные трудности, поскольку может осуществляться несколькими способами, которые на практике дают различные результаты.

Если полигон содержит  $N$  вершин, его геометрический центр  $(x_m, y_m)$  находится как среднее значение координат вершин полигона

$$x_m = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i,$$

$$y_m = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i.$$

Соответственно, центр выпуклого объекта всегда лежит внутри полигона. Невыпуклый объект может иметь центр, лежащий вне границы (рис. 2).

Геометрический центр полигона (центр масс) в большинстве случаев не соответствует фактическому центру многоугольника и будет смещаться в сторону максимальной плотности расположения вершин. Тем не менее геометрический

1 Douglas D.H., Peucker T.K. Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature // The Canadian Cartographer. 1973. Vol. 10. No. 2. P. 112-122.

2 Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. и др. Алгоритмы: построение и анализ / пер. с англ. 2-е изд. М.: Вильямс, 2011. 1296 с.

центр является важной характеристикой, которая используется для определения производных параметров полигона.

Для нахождения фактических координат центра полигона (центроида) для задач планирования используется расчет через площадь фигуры<sup>3</sup>, определяемую как сумма площадей трапеций, образованных последовательными вершинами полигонов в плоской системе координат:

$$4 \quad A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (x_{i+1}y_i - x_iy_{i+1}).$$

При прямой оцифровке полигона по часовой стрелке значение площади положительно, при обратной – отрицательно. Координаты центроида определяются соотношениями

$$5 \quad x_m = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i + x_{i+1})(x_iy_{i+1} - x_{i+1}y_i);$$

$$6 \quad y_m = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i + y_{i+1})(x_iy_{i+1} - x_{i+1}y_i).$$

Положение центроида объекта (рис. 2) не зависит от системы координат точек полигона. Вычисления можно выполнять также в равнопромежуточной проекции (широта / долгота  $B, L$ ).

Значение площади  $A$  при выборе определенных проекций совпадает с фактической площадью полигональной фигуры. Для достаточно малых объектов наблюдения, например в проекции Меркатора, можно использовать поправку площади на масштабный коэффициент<sup>4</sup>, зависящий от широты объекта:

$$7 \quad m = \sec^2 B.$$

Для зональных проекций действительное значение площади считается в пределах рабочей зоны. Для общих случаев и значительных по протяженности глобальных объектов наблюдения следует использовать суммы площадей фигур, ограниченных геодезическими линиями между смежными точками границы полигона. Длины геодезических линий ограничивают в зависимости от требуемой точности вычислений [7]. Данный функционал входит в программное обеспечение большинства современных ГИС.

Известны и другие методы нахождения центра координат полигона [8, 9]: при помощи простых вспомогательных фигур, образованных вершинами полигона. Например, это может быть центр пересечения большой и малой полуоси вписанного в многоугольник эллипса либо центр, образованный прямыми, проходящими через центры сторон ограничивающего прямоугольника.

### 2.3 Расчет геометрических размеров объекта планирования

К геометрическим параметрам объекта планирования относятся его ширина, протяженность и угол ориентации. Длинная сторона или протяженность объекта определяет продолжительность включения съемочной аппаратуры для сканерных систем, ширина объекта – количество маршрутов или включений. Ориентация объекта с учетом наклона орбиты определяет направление сканирования относительно подспутниковой трассы.

3 Xiao N. GIS Algorithms: Theory and Applications for Geographic Information Science & Technology. London: SAGE Publications, 2016. 336 p.

4 Вахрамеева Л.А., Бугаевский Л.М., Казакова З.Л. Математическая картография: учебник для вузов. М.: Недра, 1986. 286 с.

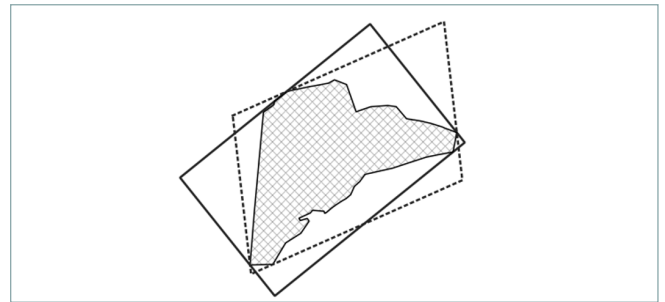
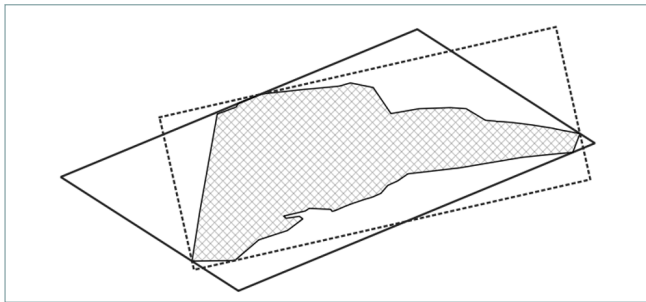
В вычислительной геометрии и геоинформатике для определения граничных размеров полигона находится минимальная ограничивающая рамка, которая полностью содержит полигон. Для объектов наблюдения ограничивающую рамку следует выбирать, исходя из правила достижения минимального количества включений съемочной аппаратуры КА за счет увеличения продолжительности съемки на маршруте. Это позволит сохранить рабочий ресурс КА и выполнить съемку протяженных объектов за минимальное время. Таким образом, ограничивающая рамка должна быть повернута вдоль преобладающего направления полигона (азимута наиболее длинного набора сегментов) так, чтобы при этом получалась наименьшая площадь.

Известен алгоритм Rotating Calipers, предложенный М. Шамосом (M. Shamos<sup>5</sup>) и развитый до практического применения Г. Туссенем (G. Toussaint)<sup>6</sup>. Алгоритм заключается в повороте опорных параллельных прямых, построенных между минимальными и максимальными точками выпуклой оболочки полигона. Повороты выполняются, пока опорные прямые не совпадут с краем выпуклой оболочки, при этом вычисляется площадь получившегося прямоугольника. Когда прямоугольник вернется в первоначальное положение, находят минимальную площадь из всех вариантов поворота. В качестве критерия возможно также вычисление минимального периметра ограничивающей рамки. Следует отметить, что алгоритм работает только на выпуклых полигонах или выпуклых оболочках, результат зависит от применяемой проекции, в которой представлены исходные данные (рис. 3), и всегда присутствуют проективные ошибки, связанные с изменением расстояний и площадей в зависимости от широты вершин полигона.


**Рис. 3**  Построенные граничные рамки  
**Fig. 3** Boundary frames constructed

Равнопромежуточная проекция (широта / долгота) – пунктирная линия /  
The equidistant projection (latitude / longitude) – dotted line

Проекция Меркатора – сплошная линия /  
The Mercator projection – solid line




В обработке изображений для нахождения ограничивающей рамки используют центральные моменты двумерной функции<sup>7</sup>, описывающей форму полигона при помощи эллипса. Метод успешно применяется на практике для различных приложений в задачах обработки изображений. При приведении моментов к геометрическому центру объекта  $(x_m, y_m)$  центральные моменты в дискретном виде определяются по формуле


**8**  
$$u_{pq} = \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - x_m)^p (y_i - y_m)^q,$$

где  $p, q = 0, 1, 2, \dots$  – степени момента порядка  $(p + q)$ .

Моменты позволяют вычислить большую  $a$  и малую  $b$  полуоси эллипса полигона:

**9**  
$$a = \sqrt{\frac{2(u_{20} + u_{02} + D)}{u_{11}}},$$

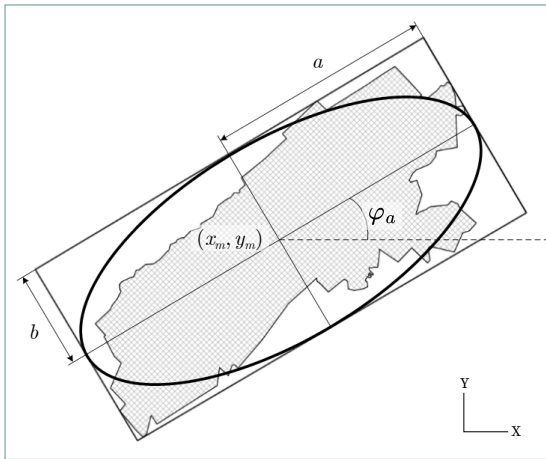
**10**  
$$b = \sqrt{\frac{2(u_{20} + u_{02} - D)}{u_{11}}},$$

**11**  где  $D = \sqrt{4u_{11}^2 + (u_{20} + u_{02})^2}$ .

5 Shamos M.I. Computational Geometry: PhD Thesis. New Haven, 1978. 236 p.

6 Toussaint G.T. Solving Geometric Problems with the Rotating Calipers // Proceedings of IEEE MELECON'83. Athens: IEEE, 1983. P. A10.02/1-4.

7 Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. 4th ed. New York: Pearson Education, 2018. 1022 p.



**Рис. 4** ⬆  
Граничные рамки, построенные с использованием вспомогательного эллипса

**Fig. 4**  
Bounding frames constructed using an auxiliary ellipse

Угол ориентации большой полуоси эллипса относительно координатной оси  $x$  (рис. 4) вычисляется по формуле

**12** ⬆ 
$$\varphi_a = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2u_{11}}{u_{20} - u_{02}} \right).$$

Как видно из соотношений, получаемые размеры объекта ( $2a$  и  $2b$ ) имеют зависимость от точного нахождения координат центра полигона. Из-за смещения центральной точки и пропуска части точек контура объекта в пределах вписанной фигуры (рис. 4) большая и малая полуоси дают неверные значения размеров объекта. Их можно использовать для предварительной оценки, но не для высокоточного планирования наведения камеры съемочной системы.

Однако величину угла ориентации эллипса  $\varphi$  удобно использовать для расчетов положения вершин граничной рамки, азимута направления объекта относительно меридианов (или центрального меридиана) в рабочей системе координат, представленной исходными координатами точек полигона объекта.

Определим параметры прямой, проходящей через центр полигона  $(x_m, y_m)$  в направлении, задаваемом углом  $\varphi_a$ .

Вспомогательные координаты начальной и конечной точек с единичной длиной отрезка:

**13** ⬆ 
$$x_n = -\cos \varphi_a + x_m,$$
  
**14** ⬆ 
$$y_n = -\sin \varphi_a + y_m;$$
  
**15** ⬆ 
$$x_k = \cos \varphi_a + x_m,$$
  
**16** ⬆ 
$$y_k = \sin \varphi_a + y_m.$$

Уравнение прямой

**17** ⬆ 
$$k_1 x + k_2 y + k_3 = 0,$$

**18** ⬆ где  $k_1 = x_n - y_n;$   
**19** ⬆  $k_2 = y_k - y_n;$   
**20** ⬆  $k_3 = -(ax_n + by_n).$

Расстояние  $d$  от любой точки полигона  $R = \{(x_i, y_i)\}$  до этой прямой равно

**21** ⬆ 
$$d = \frac{k_1 x + k_2 y + k_3}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}.$$

Таким образом, если расстояние больше или меньше нуля, точки будут находиться с разных сторон от прямой. Выполняя перебор вершин полигона, можно найти максимальное удаление точек от прямой с каждой стороны

**22** ⬆ 
$$w_1 = d_{max},$$
  
**23** ⬆ 
$$w_2 = d_{min}$$

и, соответственно, ширину граничной рамки полигона

**24** ⬆ 
$$w = w_1 + w_2.$$

Угол ориентации малой оси эллипса равен

**25** ⬆ 
$$\varphi_b = \varphi_a + \frac{\pi}{2}.$$

Аналогично находятся максимальное удаление вершин относительно малой полуоси  $h_1, h_2$  и длина граничной рамки:

**26** ⬆ 
$$h = h_1 + h_2.$$

Проведем через центр объекта взаимно перпендикулярные отрезки  $[z_1(x, y), z_2(x, y)]$  и  $[z_3(x, y), z_4(x, y)]$  — оси внутренней системы координат объекта:

- 27 ➤
- 28 ➤
- 29 ➤
- 30 ➤
- 31 ➤
- 32 ➤
- 33 ➤
- 34 ➤

$$\begin{aligned} x_{z_1} &= w_1 \cos \varphi_a + x_m, \\ y_{z_1} &= w_1 \sin \varphi_a + y_m, \\ x_{z_2} &= w_2 \cos \varphi_a + x_m, \\ y_{z_2} &= w_2 \sin \varphi_a + y_m, \\ x_{z_3} &= -h_1 \cos \varphi_b + x_m, \\ y_{z_3} &= -h_1 \sin \varphi_b + y_m, \\ x_{z_4} &= -h_2 \cos \varphi_b + x_m, \\ y_{z_4} &= -h_2 \sin \varphi_b + y_m. \end{aligned}$$

Затем вычислим координаты четырех угловых точек ограничивающей рамки:

- 35 ➤
- 36 ➤
- 37 ➤
- 38 ➤
- 39 ➤
- 40 ➤
- 41 ➤
- 42 ➤

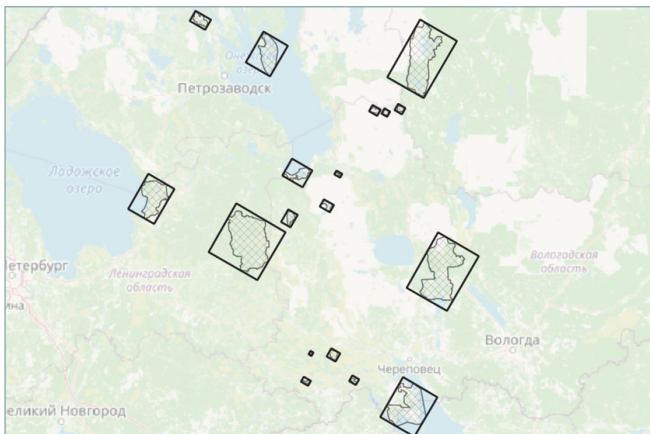
$$\begin{aligned} x_1 &= x_{z_1} - h_1 \cos \varphi_b, \\ y_1 &= y_{z_1} - h_1 \sin \varphi_b, \\ x_2 &= x_{z_1} - h_2 \cos \varphi_b, \\ y_2 &= y_{z_1} - h_2 \sin \varphi_b, \\ x_3 &= x_{z_2} - h_2 \cos \varphi_b, \\ y_3 &= y_{z_2} - h_2 \sin \varphi_b, \\ x_4 &= x_{z_2} - h_1 \cos \varphi_b, \\ y_4 &= y_{z_2} - h_1 \sin \varphi_b. \end{aligned}$$

Координаты центра ограничивающей рамки, лежащего на пересечении диагоналей прямоугольника, в общем случае не совпадут с координатами геометрического центра и центроида полигона, но их также можно использовать в качестве характеристики объекта наблюдения.

Если КА может выполнять отклонение оптической оси съемочной камеры только по углу крена (в плоскости, перпендикулярной плоскости орбиты), граничные рамки объекта должны быть ориентированы вдоль подспутниковой трассы космического аппарата. Угол  $\varphi_a$  в расчетах определяется наклоном орбиты  $i$ :

43 ➤ 
$$\varphi_a = \frac{\pi}{2} - i.$$

На рис. 5 приведены граничные рамки для объектов наблюдения, ориентированные относительно трассы КА.



**Рис. 5** ⬆  
Планирование границ съемки с постоянным углом ориентации объекта относительно подспутниковой трассы КА с наклоном орбиты  $60^\circ$

**Fig. 5**  
Planning the boundaries with a constant angle of orientation of the object relative to the sub-satellite path of the spacecraft with an orbital inclination of  $60^\circ$

### 3 Результаты и обсуждение

При вычислениях ограничивающей рамки важное значение имеет вопрос о картографической проекции, которая выбирается из следующих взаимно противоречивых требований:

- равноугольность и конформность отображения;
- минимальные искажения площадей и длин;
- возможность работы на больших территориях.

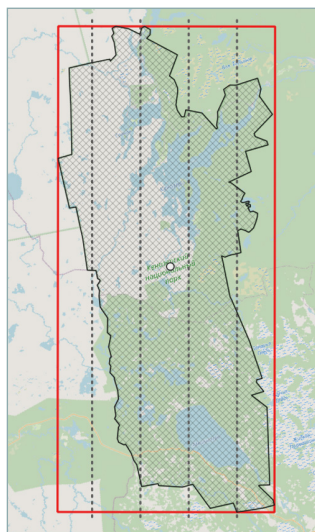
Применение зональных проекций как оптимальных для достижения указанных целей не всегда возможно из-за протяженных объектов съемки, а также при планировании съемки на значительных по площади территориях либо на всей поверхности земного эллипсоида. Самые большие искажения для равноугольных проекций возникают по широте, что приводит к разрывам между съемочными маршрутами или к их переналожению.

**Рис. 6** ✓

Результат расчетов граничной рамки и маршрутов съемки в косой цилиндрической проекции Меркатора на примере полигона с углом ориентации  $17,8^\circ$  и с центром в точке центраида полигона

**Fig. 6**

The result of calculations of the boundary frame and survey routes in the oblique cylindrical Mercator projection using the example of a polygon with an orientation angle of  $17.8^\circ$  and with the center at the polygon centroid point

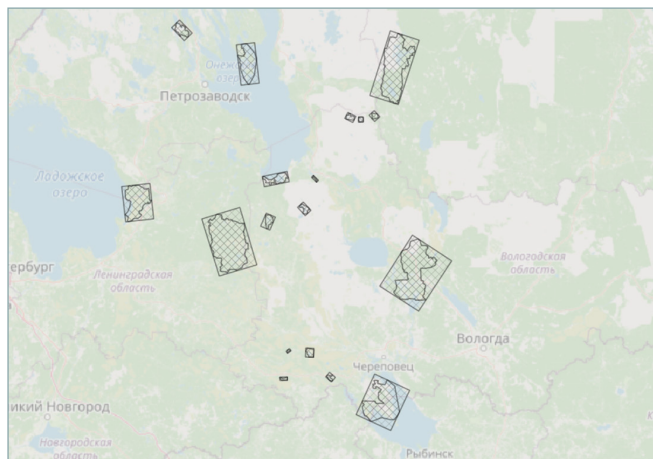


**Рис. 7** ✓

Планирование границ объектов наблюдения с учетом произвольной ориентации съемочной камеры

**Fig. 7**

Planning the boundaries of observation objects taking into account the arbitrary orientation of the shooting camera



В данной работе для расчетов граничных рамок объектов и для уменьшения искажений предлагается использовать косую цилиндрическую проекцию Меркатора в версии Хотина (англ. Hotine Oblique Mercator), в которой параметры проекции задаются центром системы координат каждого объекта и его азимутом относительно меридиана.

В качестве исходной для хранения координат объектов в системе планирования предлагается проекция веб-Меркатора для неискаженного отображения полигонов и сокращения расчетов. Получение параметров проекции для каждого объекта складывается из следующих этапов:

- 1) определяется центр полигона в географических координатах;
- 2) вычисляется азимут преобладающего направления объекта (угол  $\varphi_a$ ) в исходной проекции (или любой равноугольной проекции);
- 3) задаются параметры косой цилиндрической проекции (в версии Хотина) с началом системы координат в центре полигона и азимутом объекта;
- 4) вычисляются координаты граничных рамок каждого объекта с условием, что в косой проекции  $\varphi_a = 0, \varphi_b = \pi/2$ ;
- 5) вычисляются геометрические параметры объекта;
- 6) координаты вершин каждой граничной рамки полигона пересчитываются в исходную проекцию;
- 7) результаты расчетов записываются в атрибутивную таблицу слоя объектов в системе планирования.

Косая цилиндрическая проекция позволяет сохранить масштаб вдоль главного направления объекта, что важно для расчетов граничных рамок и дальнейшего проектирования маршрутов при формировании полного покрытия площади (рис. 6). Кроме того, в отличие от зональных проекций, косая проекция позволяет избежать переходов между зонами для протяженных с запада на восток объектов и упростить вычисления за счет исключения операции подбора зоны.

В случае, когда КА в момент съемки может совершать вращение относительно центра масс только по углу крена (рис. 5), используется широко известный как космическая косая проекция Меркатора частный вариант косой цилиндрической проекции, предложенный Дж.П. Снайдером (J.P. Snyder)<sup>8</sup> и применяемый для планирования съемки КА на солнечно-синхронной орбите в определенный момент времени. Данная проекция сохраняет конформность отображения вдоль трассы КА, но не учитывает направление протяженности объекта.

В нормальной цилиндрической проекции Меркатора рабочего проекта полученная граничная рамка будет иметь вид четырехугольника, разность между противоположными сторонами которого и угол между ними будут зависеть от широты расположения вершин и размеров объекта. На рис. 7 показаны результаты проектирования граничных рамок объектов наблюдения, находящихся в пределах двух шестиградусных зон.

Реализация рассматриваемого способа расчета границ объекта наблюдения производилась в среде ГИС QGIS. Исходные данные для проекции каждого объекта задавались параметрами в формате proj.4, а пересчет выполнялся с использованием свободно распространяемой библиотеки rproj<sup>9</sup>. Приведем строку задания проекции для объекта из примера, показанного на рис. 6:

```
+proj=omerc +lat_0=61.95 +lonc=38.14
+alpha=0 +gamma=-17.8 +ellps=WGS84
+units=m +no_defs.
```

8 Snyder J.P. Space Oblique Mercator Projection Mathematical Development. Reston: Geological Survey, 1981. 108 p.

9 PROJ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://proj.org/en/9.4> (дата обращения: 01.08.2024).

Полученные в результате расчетов граничные рамки объектов рекомендуется разбить на маршруты (полигоны с шириной, равной полосе захвата) с необходимым межмаршрутным перекрытием. Данную операцию также следует выполнять в локальной косой цилиндрической проекции Меркатора для каждого объекта во избежание переналожений и разрывов. Продолжительность включения на маршрутах и их длину следует ограничивать размерами исходного полигона. Для данных вычислений можно применять оверлейные операции [10] из функционала ГИС-приложений с учетом упреждения съемки объекта.

## 4 Выводы

В результате развития съемочных систем, совершенствования режимов съемки появляются новые требования к описанию объектов наблюдения. В работе обобщены характеристики объектов наблюдения для использования в системах планирования съемки современных систем ДЗЗ с программным сканированием. Показано, что определение геометрических размеров объекта зависит от применяемой проекции, в которой представлены исходные данные. Для получения точных результатов и сокращения расчетов предлагается применять локальную косую цилиндрическую проекцию со своими параметрами для каждого объекта. Предложены методика расчета параметров проекции и основные соотношения для вычислений, приведены соответствующие примеры. Результаты работы можно использовать для проектирования съемки в современных режимах наблюдения высокоточной аппаратурой на больших площадях для продолжительных маршрутных включений, а также для планирования работы группировки КА.

### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Григорьев А.Н., Замарин А.И., Караваев М.Н. Метод формирования групповых объектов для космических средств дистанционного зондирования Земли // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15, № 4. С. 587–594. DOI:10.17586/2226-1494-2015-15-4-587-594.
2. Zezhong LU, Xin Shen, Deren LI, et al. Multiple Super-Agile Satellite Collaborative Mission Planning for Area Target Imaging // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2023. Vol. 117. P. 103211. DOI:10.1016/j.jag.2023.103211.
3. Li F., Wan Q., Wen F., et al. Multi-Satellite Imaging Task Planning for Large Regional Coverage: A Heuristic Algorithm Based on Triple Grids Method // Remote Sensing. 2024. Vol. 16. P. 194. DOI:10.3390/rs16010194.
4. Галузин В.А., Симонова Е.В. Планирование съемки площадных объектов наблюдения группировкой космических аппаратов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 6-2. С. 344–351.
5. Дарнопых В.В., Усовик И.В. Автоматизация параметрического анализа целевого функционирования космических систем дистанционного зондирования Земли // Труды МАИ. 2011. № 47. С. 10. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://trudymai.ru/upload/iblock/d83/avtomatizatsiya-parametricheskogo-analiza-tselevogo-funktsionirovaniya-kosmicheskikh-sistem-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli.pdf> (дата обращения: 25.08.2025).
6. Емельянов А.А., Малышев В.В., Смольянинов Ю.А. и др. Формализация задачи оперативного планирования целевого функционирования разнотипных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды МАИ. 2017. № 96. С. 11. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://trudymai.ru/published.php?ID=85921> (дата обращения: 25.08.2025).
7. Обиденко В.И. Определение метрических параметров территории Российской Федерации средствами геоинформационных систем // Вестник СГУГиТ. 2018. Т. 23, № 2. С. 18–33.
8. Mulchrone K., Choudhury K. Fitting an Ellipse to an Arbitrary Shape: Implications for Strain Analysis // Journal of Structural Geology. 2004. Vol. 26. Iss. 1. P. 143–153. DOI:10.1016/S0191-8141(03)00093-2.

9. Yu F., Chou A., Ko K. On the Complexity of Finding Circumscribed Rectangles and Squares for a Two-Dimensional Domain // Journal of Complexity. 2006. Vol. 22. Iss. 6. P. 803–817. DOI:10.1016/j.jco.2006.05.005.
10. Тюкачев Н.А. Алгоритм построения оверлея многоугольников и многогранников // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5, № 5. С. 51–63.

**АВТОР** **Зайцев Владимир Валентинович**

ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» МО РФ,  
Санкт-Петербург, Россия  
кафедра оптико-электронных средств контроля,  
факультет сбора и обработки информации  
канд. техн. наук

Поступила 08.09.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# Description of Observation Objects in Space Survey Planning Tasks

Vladimir V. Zaytsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> A.F. Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russia  
 vka@mil.ru

**CITATION** Zaytsev VV. Description of Observation Objects in Space Survey Planning Tasks. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 87–99. DOI:10.30533/GiA-2025-060.

**KEYWORDS** remote sensing, survey planning, observation object, survey modes, polygon properties

**ABSTRACT** Development of modern space multi-mode Earth observation systems necessitates improvement of planning methods for space optical-electronic and radar survey. Requirements for survey system pointing accuracy are increasing for extended, curved, and areal regions, yet issues related to the effective description of initial data for defining observation objects remain virtually unexplored. This article analyzes and develops computational models for characterizing the geometric features of objects in survey planning tasks for modern Earth remote sensing spacecraft. The article examines the key characteristics of observation objects in planning tasks, as well as factors influencing the accuracy of the obtained results. The article demonstrates that determining the geometric dimensions of an object depends on the projection used to represent the initial data. To obtain accurate results and reduce calculation time, it is proposed to use a local oblique cylindrical projection with parameters for each object. A method for calculating projection parameters and the basic relationships for the calculations are proposed. Methods for calculating the geometric center of an object, the orientation angle of a vector polygon, the geometric dimensions of an object, and a method for calculating descriptive bounding frames are proposed. The results can be used for planning surveys in modern observation modes with high-resolution equipment, over large areas, for long-term missions, and for planning the use of satellite constellations with implementation in modern geographic information systems.

**REFERENCES** 1. Grigor'ev AN, Zamarin AI, Karavaev MN. Metod formirovaniya gruppovykh ob'ektov dlya kosmicheskikh sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Method of Group Objects Forming for Space-Based Remote Sensing of the Earth]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2015;15(4): 587–594. (In Russian). DOI:10.17586/2226-1494-2015-15-4-587-594.

2. Zezhong LU, Xin Shen, Deren LI, et al. Multiple Super-Agile Satellite Collaborative Mission Planning for Area Target Imaging. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2023;117: 103211. DOI:10.1016/j.jag.2023.103211.
3. Li F, Wan Q, Wen F, et al. Multi-Satellite Imaging Task Planning for Large Regional Coverage: A Heuristic Algorithm Based on Triple Grids Method. *Remote Sensing*. 2024;16: 194. DOI:10.3390/rs16010194.
4. Galuzin VA, Simonova EV. Planirovanie s'emki ploshchadnykh ob'ektov nablyudeniya gruppirovkoi kosmicheskikh apparatov [Planning the Surveying of Area Observation Objects by a Group of Spacecrafts]. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018;20(6-2): 344–351. (In Russian).
5. Darnopykh VV, Usovik IV. Avtomatizatsiya parametricheskogo analiza tselevogo funktsionirovaniya kosmicheskikh sistem distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Automation of Parametrical Analysis of Earth Observation Systems Target Functioning]. *Trudy MAI*. 2011;47: 10. (In Russian). Available from: <https://trudymai.ru/upload/iblock/d83/avtomatizatsiya-parametricheskogo-analiza-tselevogo-funktsionirovaniya-kosmicheskikh-sistem-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli.pdf> (Accessed 25 August 2025).
6. Emelyanov AA, Malyshev VV, Smolyaninov YuA., et al. Formalizatsiya zadachi operativnogo planirovaniya tselevogo funktsionirovaniya raznotipnykh kosmicheskikh apparatov distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Formalization of the Problem of Operative Target Functioning of Diverse Spacecraft for Remote Earth Probing]. *Trudy MAI*. 2017;96: 11. (In Russian). Available from: <https://trudymai.ru/published.php?ID=85921> (Accessed 25 August 2025).
7. Obidenko VI. Opreделение metriceskikh parametrov territorii Rossiiskoi Federatsii sredstvami geoinformatsionnykh sistem [Definition of Metric Parameters of the Russian Federation Territory by Means of GIS]. *Vestnik SSUGT*. 2018;23(2): 18–33. (In Russian).
8. Mulchrone K, Choudhury K. Fitting an Ellipse to an Arbitrary Shape: Implications for Strain Analysis. *Journal of Structural Geology*. 2004;26(1): 143–153. DOI:10.1016/S0191-8141(03)00093-2.
9. Yu F, Chou A, Ko K. On the Complexity of Finding Circumscribed Rectangles and Squares for a Two-Dimensional Domain. *Journal of Complexity*. 2006;22(6): 803–817. DOI:10.1016/j.jco.2006.05.005.
10. Tyukachev NA. Algoritm postroeniya overlaya mnogougol'nikov i mnogogrannikov [Algorithm of Construction Overlay of Polygons and Polyhedrons]. *Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2009;5(5): 51–63. (In Russian).

**AUTHOR Vladimir V. Zaytsev**

A.F. Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russia  
 Department of Optical-Electronic Control Means, Faculty of Data Collection and Processing  
 PhD in Engineering

Submitted: September 08, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Туристские карты-персоналии как средство развития историко-культурного туризма: предварительные соображения

**О.Н. Николаева<sup>1,2</sup>✉, А.Б. Валишин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГУГиТ), Новосибирск, Россия

✉ onixx76@mail.ru

**ЦИТИРОВАНИЕ** Николаева О.Н., Валишин А.Б. Туристские карты-персоналии как средство развития историко-культурного туризма: предварительные соображения // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 100–110. DOI:10.30533/GiA-2025-040.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** картографическое обеспечение внутреннего туризма, карты историко-культурного туризма, классификация туристских карт, содержание туристских карт, туристская карта-персоналия

**АННОТАЦИЯ** Внутренний историко-культурный туризм является доступным, популярным и востребованным видом досуга в современной России, особенно на локальном и региональном уровнях. Для расширения его тематики и популяризации историко-культурного наследия РФ среди широких слоев населения предлагается создание туристских карт-персоналий, отображающих объекты туристского интереса и инфраструктуры во взаимосвязи с событиями и личностями, сыгравшими заметную роль в истории как России в целом, так и ее отдельных регионов. В статье охарактеризован накопленный в области картографирования исторических событий опыт применительно к конкретной личности, раскрыто понятие исторических карт-персоналий. Описана история разработки советскими и российскими картографами классификаций туристских карт, определены объекты картографирования при создании туристских карт-персоналий, а также изложен порядок выбора таких объектов. Указано место туристских карт-персоналий в существующей классификации тематических карт. Описывается опыт создания карты путешествия императора Николая II по городам Центральной России в 1913 году — прообраза туристской карты-персоналии. Сделаны выводы об особенностях, которые следует учитывать, проектируя содержание и оформление туристских карт-персоналий.

## 1 Введение

Развитие внутреннего туризма — это одна из высокоактуальных задач современного российского государства и общества. В 2020 году был инициирован национальный проект «Туризм и индустрия гостеприимства», предполагающий развитие туристской инфраструктуры, повышение доступности туристских продуктов и совершенствование управления в сфере туризма<sup>1</sup>. Реализация проекта подразумевает как популяризацию существующих объектов историко-культурного наследия, так и проектирование и организацию новых маршрутов и точек интереса.

Существует множество видов туризма, выделяемых в соответствии с различными классификационными параметрами (тематика поездки, форма организации, продолжительность и т. п.). Одним из наиболее популярных видов является культурный туризм, который предполагает посещение культурных, исторических или географических достопримечательностей [1, 2]. По оценке исполнительного директора Ассоциации туроператоров России М.А. Ломидзе, порядка 60–70 % российских туристских маршрутов предполагают посещение тех или иных культурных объектов<sup>2</sup>. В значительной степени это обусловлено доступностью культурного туризма для широких слоев населения с различным уровнем финансовой обеспеченности и физической подготовки, в том числе для пенсионеров, школьников, людей с ограниченными возможностями.

Рост доходов населения и расширение возможностей досуга привели к дальнейшей диверсификации культурного туризма, в частности к формированию понятия «историко-культурный туризм». Согласно сложившемуся определению, историко-культурный туризм — это «перемещение туристов из неизменного места обитания, мотивированное посещением культурных центров, достопримечательностей, музеев, исторических мест, с главной целью ознакомления с историей и культурой страны в разных ее проявлениях» [3, с. 240].

Организация туристской отрасли тесно связана с анализом геопространственной информации, которая востребована как туристами, так и лицами, занимающимися планированием туристского бизнеса и управлением им [4, 5]. Оптимальным средством систематизации, анализа и представления подобной информации являются картографические произведения, ориентированные, соответственно, либо на туристов, либо на организаторов туризма. В связи с этим в решении задач, установленных национальным проектом «Туризм и индустрия гостеприимства», важную роль играет картографическая продукция, предназначенная для широкого круга пользователей и популяризирующая новые туристские объекты и направления. Говоря об историко-культурном туризме, авторы предлагают новый вид картографических произведений: туристские карты-персоналии — картографические произведения, отображающие объекты туристского интереса и инфраструктуры во взаимосвязи с событиями и личностями, сыгравшими заметную роль в истории России, ее отдельного субъекта или населенного пункта. Основным аспектам создания подобных карт посвящена данная статья.

## 2 Материалы и методы

Обоснование понятия туристских карт-персоналий выполнялось авторами с опорой на достижения советских и российских картографов в области туристской картографии и с учетом особенностей классификаций этих карт.

1 Национальный проект «Туризм и индустрия гостеприимства». [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.economy.gov.ru/material/directions/np\\_turizm\\_i\\_industriya\\_gostepriimstva/](https://www.economy.gov.ru/material/directions/np_turizm_i_industriya_gostepriimstva/) (дата обращения: 05.03.2025).

2 На что способен культурный туризм в России: новые форматы и маршруты // Ассоциация туроператоров России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.atorus.ru/news/press-centre/new/49392.html> (дата обращения: 05.03.2025).

Отечественные картографы занялись разработкой классификации туристских карт еще в 80-х годах XX века, но, как отмечают современные исследователи [6], данный вопрос до сих пор не проработан до конца. Отправной точкой можно считать исследования К.А. Салищева<sup>3</sup>, Л.С. Филиппович<sup>4</sup> и И.М. Яковенко<sup>5</sup>, которые в начале 1980-х годов предложили классифицировать туристские карты по функциональному назначению: карты для туристов, охотников, рыболовов, научные, рекреационные и пр. В 1984 году Ю.С. Билич и А.С. Васмут<sup>6</sup> разработали двухпараметрическую классификацию туристских карт, выделив различные виды карт в зависимости от их основного назначения (обзорные карты, маршрутные схемы, туристские планы-схемы) и от способа или средств передвижения (карты пешеходных, лыжных, автомобильных и прочих маршрутов). Этот подход был развит Главным управлением геодезии и картографии, которое в 1989 году опубликовало классификацию туристских карт по совокупности признаков<sup>7</sup>. От классификации Ю.С. Билич и А.С. Васмут ее отличало более подробное деление крупномасштабной картографической продукции на туристские планы городов и туристские атласы городов, а также появление двух новых видов картографических произведений: карт спортивного ориентирования и карт парков и зон массового туризма.

Из более поздних разработок прежде всего необходимо отметить крайне детальную классификацию туристских карт по формам, классам и видам туризма, которая была предложена в 2010 году А.К. Уваровой и учитывала назначение, территориальный охват, масштаб и содержание карт [6]. Из представленных в данной классификации видов карт к туристским картам-персоналиям наиболее близки карты культурно-исторических достопримечательностей, которые были включены исследователем в группу рекреационных карт. В 2012 году С.И. Яковлева [7] разработала компактную, но емкую классификацию туристских карт, согласно которой они разбивались на два класса (специальные карты туризма и тематические карты туризма), каждый из которых, в свою очередь, включал ряд видов и подвидов карт, выделяемых с учетом масштаба, назначения и темы картографирования. Если же говорить о ранжировании туристских карт с точки зрения использованных на них приемов исследования, то понятие аналитических, синтетических и комплексных туристских карт было закреплено в работах В.Н. Баюры и М.С. Мотовиловой<sup>8</sup>.

Систематизируя вышесказанное, авторы статьи сочли необходимым представить место туристских карт-персоналий в общем массиве тематических карт и их взаимосвязь с другими видами карт (рис. 1). Как видно из рис. 1, туристские карты-персоналии достаточно тесно связаны с историческими картами и картами транспорта, заимствуя из первых геопространственные сведения о локациях и объектах, имеющих отношение к данной персоналии, из вторых — информацию о железных и автомобильных дорогах и маршрутах общественного транспорта, обеспечивающих доступ туристов к достопримечательностям.

**Рис. 1** 

Место туристских карт-персоналий в классификации карт по теме

**Fig. 1**

A place of tourist maps of significant people among thematic maps



3 Салищев К.А. Картоведение: учебник. 2-е изд., доп., перераб. М.: Изд-во МГУ, 1982. 406 с.

4 Филиппович Л.С. Картографическое моделирование территориальных рекреационных систем. М.: Наука, 1983. 78 с.

5 Яковенко И.М. Атласное картографическое моделирование в географических исследованиях Крымской территориальной рекреационной системы: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Л., 1983. 20 с.

6 Билич Ю.С., Васмут А.С. Проектирование и составление карт: учебник. М.: Недра, 1984. 240 с.

7 Руководство по созданию туристских обзорных и маршрутных карт. М.: ГУГК, 1989. 15 с.

8 Баюра В.Н., Мотовилова М.С. Картографический метод // География туризма: учебник / под ред. А.Ю. Александровой. М.: КНОРУС, 2008. С. 252–261.

Необходимо отметить, что на начальном этапе исследования целью анализа источников стало установление места туристских карт-персоналий в общей классификации тематических карт. На основе рассмотренных работ были обоснованы концептуальные подходы и рамки исследования, однако не освещались подробности, связанные с разработкой содержания и оформления карт. Решение этой задачи планируется на последующих этапах исследования.

### 3 Результаты и обсуждение

Понятие карт-персоналий впервые было предложено советским и российским ученым А.В. Постниковым в 1969 году применительно к историческому картографированию. В статье «Исторические карты и их классификация»<sup>9</sup> он ввел понятие исторических карт-персоналий, которые «посвящены жизни и деятельности отдельных выдающихся лиц» и «показывают места, связанные с жизнью исторических деятелей, места изданий значительных произведений и т. п.»<sup>10</sup>. Как видно из данного определения, карты-персоналии призваны привлечь внимание не только к событиям, но и к их пространственной локализации. На взгляд авторов, такие карты могли бы успешно использоваться не только в историческом картографировании, но и в туризме и краеведении, поскольку ставят во главу угла местоположение объектов потенциального туристского интереса (зданий, сооружений, населенных пунктов, памятников и пр.), связанных с жизнью и деятельностью выдающихся представителей политики, науки, культуры, искусства и пр., и, таким образом, развивают историко-культурный туризм на различных территориях. Однако концепция исторических карт-персоналий не была далее развита А.В. Постниковым, и они остались лишь одним из подвидов исторических карт, используемых в настоящее время в основном как иллюстрации в учебной и научно-справочной литературе и характеризующихся ограниченным содержанием и стереотипным оформлением.

Тем не менее высокоактуальная в настоящее время популяризация сведений о различных этапах и вехах исторического развития российского государства и общества подразумевает не только изучение и сохранение культурного наследия России, но и активное ознакомление с ним населения, в том числе посредством туризма. Предлагаемые авторами туристские карты-персоналии отличаются от прочих видов туристских карт тем, что визуализируют местоположение и свойства объектов туристского интереса во взаимосвязи с жизнью конкретных исторических личностей (путешествия, паломничества, экспедиции и т. п.). Таким образом, тематическое содержание туристских карт-персоналий может быть весьма разнообразным: это маршруты по местам боевой славы того или иного военачальника, по местам профессиональной и (или) общественной деятельности выдающихся представителей российской культуры, науки, политики, искусства и т. п. В некоторой степени содержание туристских карт-персоналий пересекается с материалами карт историко-культурного наследия: последние могут выступать одним из основных картографических источников при создании первых. Однако если карты историко-культурного наследия ориентированы на особенности пространственного размещения разнородных объектов, характеризующих историю и культуру данной территории как единое целое [8–10], то целью туристских карт-персоналий является отображение маршрутов, перемещаясь по которым турист может посетить максимальное количество исторически интересных объектов, охваченных единой тематикой, с минимальными затратами времени и (желательно) финансов и, таким образом, получить четкое представление о жизненном пути и достижениях конкретной исторической личности. При этом объекты туристского интереса

<sup>9</sup> Постников А.В. Исторические карты и их классификация // Геодезия и картография. 1969. № 8. С. 66–70.

<sup>10</sup> Там же. С. 69.

могут иметь значимость как на общероссийском уровне, так и на региональном или местном (например, городской туристский маршрут, объединяющий здания, спроектированные известным местным архитектором).

С точки зрения авторов статьи, простейшим способом не только привлечь внимание широких слоев населения к объектам историко-культурного наследия, но и вызвать желание посетить их, является именно развитие местного и регионального туризма за счет популяризации сведений о жизненных вехах и достижениях проживавших в данном населенном пункте деятелей культуры, науки, политики, искусства. Типичными примерами такого подхода являются туристские маршруты «Петербург Достоевского», «Тургенев. Блоготур с Писателем», ««Москва, я думал о тебе!» (По неизбитым пушкинским тропам)», «Путь к звездам (Гагарин)» и некоторые другие аналогичные маршруты, связанные со столь же широко известными именами.

Практически в любом относительно крупном населенном пункте существует пространственный список деятелей, внесших значительный вклад в развитие науки, культуры и искусства на местном уровне, однако малоизвестных. Поэтому назначение туристских карт-персоналий состоит прежде всего в популяризации местных значимых личностей и развитии историко-культурного туризма на локальном и региональном уровнях. За счет небольших расстояний такой туризм будет финансово доступен людям с любым уровнем доходов.

Определение объекта картографирования при создании туристской карты-персоналии начинается с выбора значимой личности (далее — персоналия), оставившей свой след в истории и культуре картографируемой территории. Для того чтобы избежать нарушений российского законодательства, на этом этапе лучше воспользоваться официальными источниками: перечнями выдающихся людей данного населенного пункта или административного субъекта, представленными на сайте местной администрации, а также учебными пособиями, принятыми в местных учреждениях среднего и высшего образования для преподавания дисциплин, связанных с краеведением. Ценным подспорьем могут стать и публикации местных историков и краеведов, материалы краеведческих музеев.

На следующей стадии составляется перечень объектов туристского интереса — пространственных объектов, связанных с жизнедеятельностью выбранной персоналии (места проживания, учебы, работы, маршруты перемещений по территории, существующие места памяти и пр.). Виды этих объектов весьма разнообразны, и авторы более детально рассмотрят их в следующей статье.

Помимо объектов исторического интереса важным элементом тематического содержания туристских карт-персоналий является транспорт, обеспечивающий доступ туристов к достопримечательностям. Учитывая ориентацию карт данного вида на широкие слои населения, целесообразно отображать не только транспортные пути (железные и автомобильные дороги), но и маршруты общественного транспорта, особенно в том случае, если картографируемый туристский маршрут расположен в населенном пункте. Актуальными элементами этого раздела легенды могут стать стоимость, продолжительность и расписание поездок, которые можно инкорпорировать из общедоступных бесплатных источников данных в случае реализации туристской карты-персоналии в виде интерактивного картографического продукта или приложения для смартфона.

Изложенный выше подход к определению понятия и объекта картографирования исторических карт-персоналий был применен авторами при создании карты путешествия императора Николая II по городам Центральной России в 1913 году. Данный продукт создавался как наглядный материал для обеспечения экспозиции Музея Императора Николая II и его семьи (Москва) и рассматривался как предварительный концепт исторической карты-персоналии. В качестве картографируемой персоналии, соответственно, выступал сам монарх; рассматривался его жизненный этап, связанный с путешествием по городам Центральной России в 1913 году в связи с 300-летним юбилеем правящего дома Романовых. Объектами туристского интереса выступали 9 населенных пунктов, посещенных императором Николаем II (Москва, Боголюбово,

Владимир, Кострома, Нижний Новгород, Переславль-Залесский, Ростов, Суздаль и Ярославль), а также сам маршрут поездки по воде (рекам) и по суше [11].

Для получения исходной информации о ходе путешествия был выполнен анализ исторического источника — камер-фурьерского церемониального журнала за май 1913 года<sup>11</sup>, описывающего поездки, совершенные императором в этот период. Работы по составлению карты велись в геоинформационной системе (ГИС) QGIS, а дизайн условных обозначений и оформление карты выполнялись в графическом редакторе CorelDRAW.

В качестве главного картографического источника для создания общегеографической основы было решено использовать аутентичную политико-административную карту, созданную в начале XX века, т. к. это позволило бы передать географические особенности Центральной России того времени. Авторами был проведен анализ находящихся в открытом доступе карт Российской империи, составленных в указанную эпоху, и сделан выбор в пользу карты Европейской части России, представленной в атласе мира 1905 года (Hammond's Modern Atlas of the World, New York). С использованием этой карты в ГИС QGIS была создана общегеографическая основа, включавшая в себя: наиболее крупные реки; входившие в императорский маршрут населенные пункты; железные и автомобильные дороги; границы губерний. Следует отметить, что на выбранной карте для отображения рек и дорог были использованы практически одинаковые условные знаки черного цвета, что усложняло процесс воссоздания аутентичной конфигурации речной и дорожной сетей. В связи с этим в процессе векторизации использовались и более поздние карты Европейской России для уточнения положения гидрографических объектов.

На сегодняшний день в методическом аппарате туристской картографии отсутствует четкое определение туристских карт-персоналий и их тематического содержания. Это дает простор творческому воображению создателей подобных картографических продуктов, поэтому картографические произведения, близкие к туристским картам-персоналиям и представленные в свободном доступе, зачастую ориентированы не на передачу объектов туристской инфраструктуры, как этого требует ГКИНП-14-191-85<sup>12</sup> и другие нормативные документы, а на отображение объектов туристского интереса (места проживания, работы, отдыха, маршруты перемещения известных исторических личностей и культурных деятелей). Возможно, это объясняется тем, что точечные объекты туристского интереса расположены на хорошо обжитых территориях внутри населенных пунктов, а маршруты перемещения зачастую совпадают с существующими и давно налаженными транспортными связями. Поскольку авторы статьи находятся только в начале исследования, они тоже сконцентрировали усилия на отображении объектов туристского интереса, тем более что это представляло собой нетривиальную задачу по обработке архивных текстовых источников. В связи с этим тематическое содержание проектируемой карты ограничено населенными пунктами, посещенными императором Николаем II, и маршрутом его перемещения по рекам, железным и автомобильным дорогам. Много внимания было уделено разработке оформления карты для ее стилизации в духе карт, создававшихся в начале XX века, в частности ее зарамочному оформлению с пояснительными текстами и изображениями.

Созданный проект представлен на рис. 2. Это предварительный вариант, отражающий лишь общие черты и замысел будущей полноценной исторической карты-персоналии, работы над которой сейчас ведутся.

11 Российский государственный исторический архив. Ф. 516. Оп. 2. Д. 296–297.

12 ГКИНП-14-191-85. Инструкция по созданию туристских обзорных карт и маршрутных карт-схем. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://meganorm.ru/mega\\_doc/norm/instrukciya/2/gkinp-14-191-85\\_instruksiya\\_po\\_sozdaniyu\\_turistskikh.html](https://meganorm.ru/mega_doc/norm/instrukciya/2/gkinp-14-191-85_instruksiya_po_sozdaniyu_turistskikh.html) (дата обращения: 12.03.2025).



**Рис. 2** Прообраз туристской карты-персоналии на примере картографирования путешествия императора Николая II по городам Центральной России в 1913 г.

**Fig. 2** The prototype of a tourist map of significant people based on the example of mapping the travel of Emperor Nicholas II through the cities of Central Russia in 1913

## 4 Выводы

Историко-культурный туризм — один из видов туризма, который доступен максимально широкому кругу людей, в том числе тем, кто имеет ограничения в финансах, по возрасту, физическому состоянию и т. д. В истории развития любого региона или относительно крупного населенного пункта России есть личности, внесшие значительный вклад в культуру, науку, искусство, общественную жизнь по крайней мере на локальном уровне. Популяризация таких людей может стимулировать развитие локального и регионального историко-культурного туризма, повысить осведомленность населения о культурно-историческом наследии РФ и обеспечить дополнительные поступления в бюджеты (прежде всего, муниципальные). Для решения этой задачи авторы предлагают новый вид карт — туристские карты-персоналии, отображающие точки и маршруты туристского интереса, связанные с конкретной исторической личностью. Особенно перспективной является реализация подобных картографических произведений в цифровом и электронном виде, что позволит не только обеспечить их наглядность, но и значительно расширить информативность.

Работы над картографированием путешествия императора Николая II по городам Центральной России в 1913 году позволили прийти к следующим выводам:

1. Понимание туристских карт-персоналий как средства развития внутригосударственного туризма предполагает более детальную проработку общегеографической основы по сравнению с тем объемом работ, который был выполнен авторами. В дальнейших исследованиях для этих целей в качестве основного картографического источника планируется использовать обзорные общегеографические карты. При создании общегеографической основы для крупномасштабных туристских карт-персоналий

на территорию населенного пункта будут учитываться требования, представленные в Руководстве по созданию карт городов<sup>13</sup>.

2. Высокая информационная нагрузка туристской карты-персоналии (в том числе насыщенность фотографиями, иллюстрациями, справочными текстами, а значит, большое количество врезок) требует повышенного внимания к компоновке бумажной карты. Информационная нагруженность туристских карт-персоналий также повышает целесообразность их реализации в цифровом виде с применением современных технологий мультимедийного, интерактивного и веб-картографирования.
3. Вопрос о степени соблюдения аутентичности создаваемой туристской карты-персоналии (например, использование дореформенной орфографии) остается открытым. С одной стороны, это позволяет пользователям погрузиться в картографируемую эпоху, с другой — может затруднить понимание карты и вызвать отторжение.

Сделанные выводы будут учтены при создании новых образцов туристских карт-персоналий. Проработка теоретических, методических и практических вопросов создания туристских карт-персоналий выполняется в настоящее время путем создания ряда интерактивных карт, отражающих путешествие Николая II по городам Центральной России в 1913 году и его поездки на фронт во время Первой мировой войны в 1914–1916 годах.


#### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Лебедева С.А. Оценка популярности видов туризма среди российских потребителей // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10, № 7. С. 2105–2116. DOI:10.18334/ep.10.7.110690.
2. Архипов А.И., Музычук В.Ю. Культурный туризм в стратегии развития отечественного туризма // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2011. № 4. С. 209–223.
3. Фомина Е.Д. Историко-культурный туризм // Инновационная наука. 2016. № 11. С. 238–241.
4. Ушакова Е.О. Эффективность внедрения геоинформационных систем управления региональными ресурсами развития туризма // Российское предпринимательство. 2013. № 21(243). С. 76–85.
5. Дворянинова А.А., Курач Е.В. Применение ГИС в проектировании нового культурно-познавательного тура // Экономика и социум. 2015. № 2-2(15). С. 30–34.
6. Уварова А.К. Классификации туристских карт // Вестник КазНУ. Серия географическая. 2010. Т. 31, № 2. С. 127–134.
7. Яковлева С.И. Специальные и тематические туристские карты: опыт классификации // Вестник ТвГУ. Серия: География и геоэкология. 2012. № 1(12). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://journal.tversu.ru/index.php/geo/article/view/120> (дата обращения: 04.03.2025).
8. Коротков А.С., Алексеенко Н.А., Курамагомедов Б.М. Карты историко-культурного наследия как фактор развития внутреннего туризма (на примере Республики Дагестан) // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2022. Т. 15, № 4. С. 103–114.
9. Белая Н.И., Воскресенский И.С., Сучилин А.А. и др. ГИС историко-культурного наследия старинного русского города (на примере г. Юрьевца в Среднем Поволжье) // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2022. Т. 15, № 1. С. 30–40.
10. Ельчанинов А.И. Опыт картографирования историко-культурных объектов как форма сохранения исторической памяти // Культурологический журнал. 2023. № 3(53). С. 1–10. DOI:10.34685/НЖ.2023.93.54.017.
11. Николаева О.Н., Валишин А.Б. Исторические карты-персоналии как средство популяризации исторических знаний // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения: сборник материалов

<sup>13</sup> ГКИНП (ОНТА) 14-257-02. Руководство по созданию карт городов. Серия: Карты городов России. М.: ЦНИИГАиК, 2002. 55 с.

VII Национальной научно-практической конференции с международным участием: в 3 ч. Новосибирск, СГУГиТ, 2024. Ч. 3. С. 16–23. DOI:10.33764/2687-041X-2024-3-16-23.

**АВТОРЫ** **Николаева Ольга Николаевна**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), Новосибирск, Россия;  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра картографии, картографический факультет  
д-р техн. наук, доцент  
 0000-0002-1529-4166

**Валишин Айдар Булатович**

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

Поступила 22.03.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# Tourist Maps of Notable People as a Means of Developing Historical and Cultural Tourism: Preliminary Considerations

**Olga N. Nikolaeva<sup>1,2</sup>✉, Aidar B. Valishin<sup>1</sup>**

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

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

✉ onixx76@mail.ru

**CITATION** Nikolaeva ON, Valishin AB. Tourist Maps of Notable People as a Means of Developing Historical and Cultural Tourism: Preliminary Considerations. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 100–110. DOI:10.30533/GiA-2025-040.


**KEYWORDS** cartographic support for domestic tourism, heritage tourist maps, tourist maps classification, content of tourist maps, notable people map

**ABSTRACT** Domestic heritage tourism is an accessible, popular and sought-after form of leisure in modern Russia, especially at the local and regional level. To expand its themes and popularize the historical and cultural heritage of the Russian Federation among the general population, it is proposed to create tourist maps of notable people that display objects of tourist interest and infrastructure in connection with personalities that played a significant role in the history of Russia as a whole or its individual part. The article describes the accumulated experience in the field of mapping historical events in relation to a specific person. The concept of historical notable people maps is revealed. The concept of tourist notable people maps is introduced. The history of the development of tourist maps classifications by Soviet and Russian cartographers is described. The objects of mapping when creating notable people maps are defined, the features of their selection are outlined. The procedure for selecting a mapping object when designing a notable people map is described. The place of notable people maps in the existing classification of socio-economic maps is indicated. The experience of designing a map of the journey of Emperor Nicholas II through the cities of Central Russia in 1913 is described, which is considered by the authors as a prototype of a notable people map. Conclusions are drawn about some features of the design of notable people maps.

**REFERENCES** 1. Lebedeva SA. Otsenka populyarnosti vidov turizma sredi rossiiskikh potrebitelei [Evaluating the Popularity of Tourism Types Among Russian Consumers]. *Journal*

- of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2020;10(7): 2015–2116. (In Russian). DOI:10.18334/epp.10.7.110690.
2. Arkhipov AI, Muzychuk VYu. Kul'turnyi turizm v strategii razvitiya otechestvennogo turizma [Cultural Tourism in the Strategy of Development of Domestic Tourism]. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2011;4: 209–223. (In Russian).
  3. Fomina ED. Istoriko-kul'turnyi turizm [Historical and Cultural Tourism]. *Innovative Science*. 2016;11: 238–241. (In Russian).
  4. Ushakova EO. Effektivnost' vnedreniya geoinformatsionnykh sistem upravleniya regional'nymi resursami razvitiya turizma [Efficiency of Implementation of Geoinformation Systems for Management of Regional Tourism Development Resources]. *Russian Journal of Entrepreneurship*. 2013;21(243): 76–85. (In Russian).
  5. Dvoryaninova AA, Kurach EV. Primenenie GIS v proektirovanii novogo kul'turno-poznavatel'nogo tura [Application of GIS in Designing a New Cultural and Educational Tour]. *Economy and Society*. 2015;2-2(15): 30–34. (In Russian).
  6. Uvarova AK. Klassifikatsii turistskikh kart [Classifications of Tourist Maps]. *Bulletin of KazNU. Geographical Series*. 2010;31(2): 127–135. (In Russian).
  7. Yakovleva SI. Spetsial'nye i tematicheskie turistskie karty: opyt klassifikatsii [Special and Thematic Tourist Maps: Classification Experience]. *Bulletin Tver State University. Series: Geography and Geoecology*. 2012;1(12). (In Russian). Available from: <https://journal.tversu.ru/index.php/geo/article/view/120> (Accessed 4 March 2025).
  8. Korotkov AS, Alekseenko NA, Kuramagomedov BM. Karty istoriko-kul'turnogo naslediya kak faktor razvitiya vnutrennego turizma (na primere Respubliki Dagestan) [Historical and Cultural Heritage Maps as a Factor of Domestic Tourism Development (by the Example of the Republic of Dagestan)]. *Bulletin of the Pskov State University. Series "Natural and Physical and Mathematical Sciences"*. 2022;15(4): 103–114. (In Russian).
  9. Belaya NI, Voskresensky IS, Suchilin AA, et al. GIS istoriko-kul'turnogo naslediya starinnogo russkogo goroda (na primere g. Yur'evetsa v Srednem Povolzh'e) [GIS of the Historical and Cultural Heritage of an Ancient Russian City (on the Example of the City of Yuryevets in the Middle Volga Region)]. *Bulletin of the Pskov State University. Series "Natural and Physical and Mathematical Sciences"*. 2022;15(1): 30–40. (In Russian).
  10. Elchaninov AI. Opyt kartografirovaniya istoriko-kul'turnykh ob'ektov kak forma sokhraneniya istoricheskoi pamyati [Experience of Mapping Historical and Cultural Objects as a Form of Preserving Historical Memory]. *Journal of Cultural Research*. 2023;3: 1–10. DOI:10.34685/HI.2023.93.54.017.
  11. Nikolaeva ON, Valishin AB. Istoricheskie karty-personalii kak sredstvo populyarizatsii istoricheskikh znaniy [Historical Maps-Personalities as a Means of Popularizing Historical Knowledge]. *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*. In 3 parts. Part 3. Novosibirsk: SSUGT, 2024: 16–23. (In Russian). DOI:10.33764/2687-041X-2024-3-16-23.

**AUTHORS Olga N. Nikolaeva**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia;  
 Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
 Department of Cartography, Faculty of Cartography  
 Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor  
 0000-0002-1529-4166

**Aidar B. Valishin**

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

Submitted: March 22, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Геоинформационный подход к решению проблемы геометрически справедливого раздела дна Каспия между прикаспийскими государствами

**С.А. Лоренс<sup>1,2</sup>✉, В.М. Руденко<sup>2</sup>,  
О.И. Челябинца<sup>2</sup>, Н.Д. Мархабатов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<sup>2</sup> Российский государственный университет туризма и сервиса, Подольск, Россия

✉ serge.a.lawrence@gmail.com

**ЦИТИРОВАНИЕ** Лоренс С.А., Руденко В.М., Челябинца О.И., Мархабатов Н.Д. Геоинформационный подход к решению проблемы геометрически справедливого раздела дна Каспия между прикаспийскими государствами // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 111–123. DOI:10.30533/GiA-2025-052.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** геоинформационная система, QGIS, полигоны Вороного — Тиссена, Каспийское море, деление дна Каспия

**АННОТАЦИЯ** Поскольку дно Каспия чрезвычайно богато углеводородными ресурсами, возникла проблема его раздела между пятью прикаспийскими государствами для разработки и добычи нефти и природного газа. В настоящей работе представлено окончательное решение этой долгосрочной проблемы. Согласно Конвенции о правовом статусе Каспийского моря (Актау, 2018), поверхность и воды Каспия считаются общими для судов всех прикаспийских государств, поэтому практической задачи раздела именно поверхности Каспия не стоит. Однако в данной статье условный геометрически справедливый раздел поверхности Каспия приведен не в качестве самоцели, а как промежуточный результат, при этом ортогональная проекция полученного раздела поверхности на дно моря даст искомый раздел дна Каспия. Понятие геометрической справедливости понимается в том смысле, что точка поверхности моря принадлежит, например, Ирану тогда и только тогда, когда эта точка находится ближе всего к побережью Ирана. Таким образом, хотя поверхность Каспия играет вспомогательную роль, требуется алгоритм геометрически справедливого раздела именно поверхности моря между пятью прикаспийскими государствами. В работе представлен такой алгоритм, использующий системы полигонов Вороного — Тиссена. Он реализован в геоинформационной системе QGIS. Полученный в результате раздел Каспия сравнивается с официально признанным на сегодняшний день. Указано, что, хотя геометрическая справедливость является базовой, не менее

важны и надстроечные факторы — экономические, природные, финансовые и геополитические. Предложенный в работе геоинформационный подход можно применять к разделу любых геообъектов.

## 1 Введение

Большой интерес исследователей разных профилей к Каспийскому морю обусловлен тем, что оно обладает очень существенными запасами углеводородов. По данным Международной ассоциации по оценке воздействия на окружающую среду (*англ.* International Association for Impact Assessment, IAIA), Каспийский бассейн содержит 48 млрд баррелей нефти и 292 трлн кубических футов природного газа в найденных и потенциальных запасах [1]. В настоящее время на Каспии активно продолжается разведка и добыча нефтегазовых ресурсов [2–4].

Вплоть до 1991 года выход в Каспийское море имели только два государства — СССР и Иран. Протяженность береговой линии моря, принадлежавшей Советскому Союзу, составляла более 86 %, и Каспийское море долгое время фактически было внутренним водоемом в границах СССР. Лишь на юге оно омывало берега Ирана<sup>1</sup>, поэтому проблем по определению правового статуса Каспия не возникало. К тому же тогда это море практически не использовалось как источник углеводородов. Формально раздел Каспия опирался и опирается сегодня на геометрический *принцип срединной линии*: «Если берега двух государств расположены один против другого или примыкают друг к другу, ни то ни другое государство не имеет права, если только между ними не заключено соглашение об ином, распространять свое территориальное море за срединную линию, проведенную таким образом, что каждая ее точка является равноотстоящей от ближайших точек исходных линий, от которых отмеряется ширина территориального моря каждого из этих двух государств»<sup>2</sup>.

После распада СССР ситуация кардинально изменилась, и Каспийское море стали делить между собой уже пять государств: Азербайджан, Иран, Казахстан, Россия и Туркменистан. При этом принцип срединной линии потерял свою практическую эффективность и используется как принцип *ad hoc*. Актуальный на сегодняшний день раздел дна Каспия производился на основе взаимных договоренностей прикаспийских государств. Именно так сформированы действующие границы дна Каспия между Россией и ее непосредственными соседями, Азербайджаном и Казахстаном, причем граница дна между Азербайджаном и Казахстаном в центральной части Каспия сформирована по принципу срединной линии.

Таким образом, Каспийское море оказалось значимым ресурсом экономики в мировом масштабе, что привело к постоянным спорам о продлении границ пяти прибрежных государств на поверхность всего моря так, чтобы она делилась на пять участков, соответствующих пяти прикаспийским государствам. При этом подразумевается, что соответствующие участки дна моря, ортогонально проецируемые на полученные участки поделенной поверхности моря, дадут геометрически справедливое разбиение *дна* моря между пятью прикаспийскими государствами для разработки и добычи запасов из его недр. Важно отметить, что речь здесь идет не о территориальных морях, прилежащих зонах или континентальных шельфах, а об исключительных экономических зонах, определяемых статьей 48 Конвенции ООН по морскому праву<sup>2</sup>.

Несмотря на то, что с 1991 года прошло уже почти тридцать пять лет, статус Каспийского моря до сих пор окончательно не определен. В августе 2018 года

1 ТАСС. 2019. 1 окт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/politika/6949435> (дата обращения: 05.06.2025).

2 Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву: ратифицирована Федеральным законом РФ от 26 февраля 1997 г. № 30-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1900747> (дата обращения: 05.06.2025).

в Актау между Азербайджаном, Ираном, Казахстаном, Россией и Туркменистаном была подписана Конвенция о правовом статусе Каспийского моря<sup>3</sup>. Согласно этому документу, поверхность и воды Каспийского моря остаются в общем пользовании сторон, но дно (и, соответственно, недра под морским дном) делится соседними государствами по договоренности между ними. Хотя, согласно конвенции, поверхность Каспия и его воды являются общими, введем понятие воображаемого *геометрически справедливого раздела поверхности Каспия* между пятью прикаспийскими государствами, чтобы спроектировать полученный раздел поверхности ортогонально (т. е. перпендикулярно) поверхности Каспия на дно моря и в результате получить геометрически справедливый раздел дна Каспия, в чем и состоит цель настоящей работы.

Иран (и только Иран) не ратифицировал Конвенцию о правовом статусе Каспийского моря, и периодически государства-участники предпринимают очередные попытки достигнуть окончательной договоренности. Так, последнее (восьмое) заседание рабочей группы высокого уровня по этому вопросу состоялось 24–26 июня 2024 года в Тегеране. Однако окончательного решения, удовлетворяющего все стороны, пока не найдено. Важно понимать, что, поскольку у России не осталось разногласий с Азербайджаном и Казахстаном, на сегодняшний день нерв противоречия натянут только между Ираном и Азербайджаном, Ираном и Туркменистаном.

В практическом применении установление границ дна Каспийского моря между пятью прикаспийскими государствами — сложная проблема, решение которой должно учитывать многосторонние факторы: географические, природные, экономические, финансовые, геополитические, технологические и др. Однако в настоящей работе мы рассматриваем эту проблему с чисто геометрической точки зрения, ставя следующее *условие геометрической справедливости*: *всякая точка на поверхности моря должна принадлежать тому государству, к береговой границе которого эта точка находится ближе всего*.

Важно отметить, что, хотя геометрическая справедливость является базовой, не менее важны и вышеперечисленные надстроечные факторы. В любом случае границы дна Каспия формируются как базисными геометрическими, так и надстроечными геополитическими факторами и поэтому могут быть установлены в результате договоренностей между смежными прикаспийскими государствами.

## 2 Материалы и методы

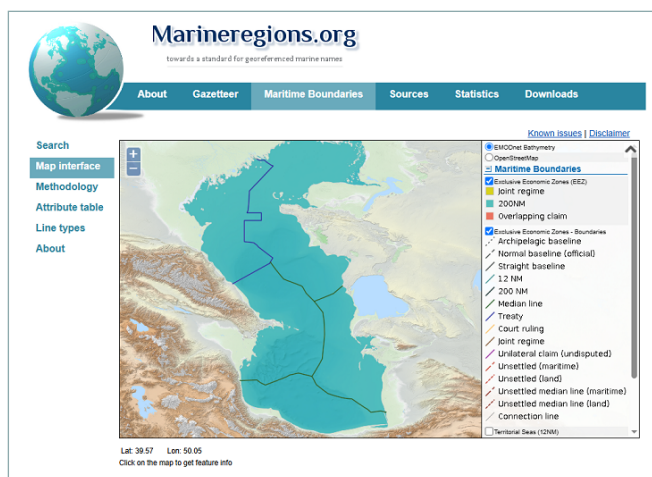
### 2.1 Теоретическая база метода: система полигонов Вороного – Тиссена

Рис. 1

Карта исключительных экономических зон

Fig. 1

Exclusive economic zone map



В рамках данного исследования понадобятся актуальная береговая граница Каспийского моря и сухопутные границы между прикаспийскими государствами. Все эти границы доступны на карте исключительных экономических зон (ИЭЗ) (рис. 1)<sup>4</sup>.

Мы разбиваем береговую границу моря достаточно большим числом  $n$  случайных точек, равномерно распределенных на границе. Эти  $n$  точек

3 Конвенция о правовом статусе Каспийского моря. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/supplement/5328> (дата обращения: 05.06.2025).

4 Marine Regions. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://marineregions.org> (дата обращения: 09.06.2025).

будем называть *вершинами-генераторами*, имея в виду, что они предназначены для генерирования системы полигонов Вороного –Тиссена<sup>5,6,7</sup> [5, 6] на плоскости, также называемой системой *локусов*, причем единственным образом. Каждый locus представляет собой выпуклый полигон, содержащий внутри себя ровно одну вершину-генератор, причем все точки внутри этого локуса оказываются расположенными ближе к находящейся в этом локусе вершине-генератору, чем к любой другой вершине-генератору. Более формально система локусов определяется следующими тремя свойствами:

- 1) внутри каждого локуса находится ровно одна из  $n$  вершин-генераторов;
- 2) каждая из  $n$  вершин-генераторов находится внутри ровно одного локуса;
- 3) всякая точка  $P$  поверхности моря находится геометрически ближе к вершине-генератору локуса, в котором оказалась точка  $P$ , чем к любой другой вершине-генератору.

Наконец, все локусы, примыкающие к границе одного и того же государства, сливаются в один полигон, от которого затем отсекается сухопутная часть, т. е. часть, оказавшаяся вне моря. В результате получается геометрически справедливый раздел поверхности моря на пять частей, соответствующих пяти прикаспийским государствам, причем геометрическая справедливость гарантируется свойством 3. Полученный раздел поверхности моря будет ортогонально (перпендикулярно) поверхности спроектирован на дно моря, что даст искомый раздел дна Каспия (и, соответственно, недр под дном).

Для работы была выбрана геоинформационная система (ГИС) QGIS из-за наличия в ней встроенной функции построения системы полигонов Вороного –Тиссена по данному множеству вершин-генераторов.

## 2.2 Постановка задачи

Море представляет собой геообъект (географический объект), который будем обозначать  $S$ , а его границу —  $\partial S$ . Последняя состоит из объединения пяти внутренне непересекающихся линий, обозначаемых  $(\partial S)_i$  (где  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ) и соответствующих береговым границам пяти прикаспийских государств. Мы ставим задачу построения геометрически справедливого разбиения поверхности моря  $S$  на пять *частей*, обозначаемых  $S_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ). Ортогональная проекция полученного разбиения поверхности на дно моря даст искомое геометрически справедливое разбиение дна Каспия. Термин «геометрически справедливое разбиение» означает, что выполняются следующие два условия:

- 1) для каждого  $i = 1, \dots, 5$  часть  $S_i$  содержит в своей береговой границе линию  $(\partial S)_i$ ;
- 2) всякая точка  $P$  внутри  $S$  принадлежит части  $S_i$  тогда и только тогда, когда расстояние от  $P$  до  $(\partial S)_i$  меньше или равно расстоянию от  $P$  до  $(\partial S)_j$  при всех  $j$ , не равных  $i$  (условие геометрической справедливости).

Условие геометрической справедливости можно перефразировать так: всякая точка  $P$  внутри  $S$  принадлежит тому государству, к береговой границе которого эта точка находится ближе всего.

Для решения поставленной задачи, алгоритм которого представлен в подразделе 3.1 статьи, пронумеруем прилегающие к морю  $S$  государства целыми числами в алфавитном порядке: 1) Азербайджан; 2) Иран; 3) Казахстан; 4) Россия; 5) Туркменистан. На береговой границе моря  $\partial S$ , используя равномерное распределение, сгенерируем  $n$  случайных точек  $P_1, \dots, P_n$ , которые будут играть роль

5 Yamada I. Thiessen Polygons // International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology. Wiley-Blackwell, 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118786352.wbieg0157> (дата обращения: 09.06.2025).

6 Brassel K.E., Douglas R. A Procedure to Generate Thiessen Polygons // Geographical Analysis. 1979. Vol. 11. Is. 3. P. 289–303.

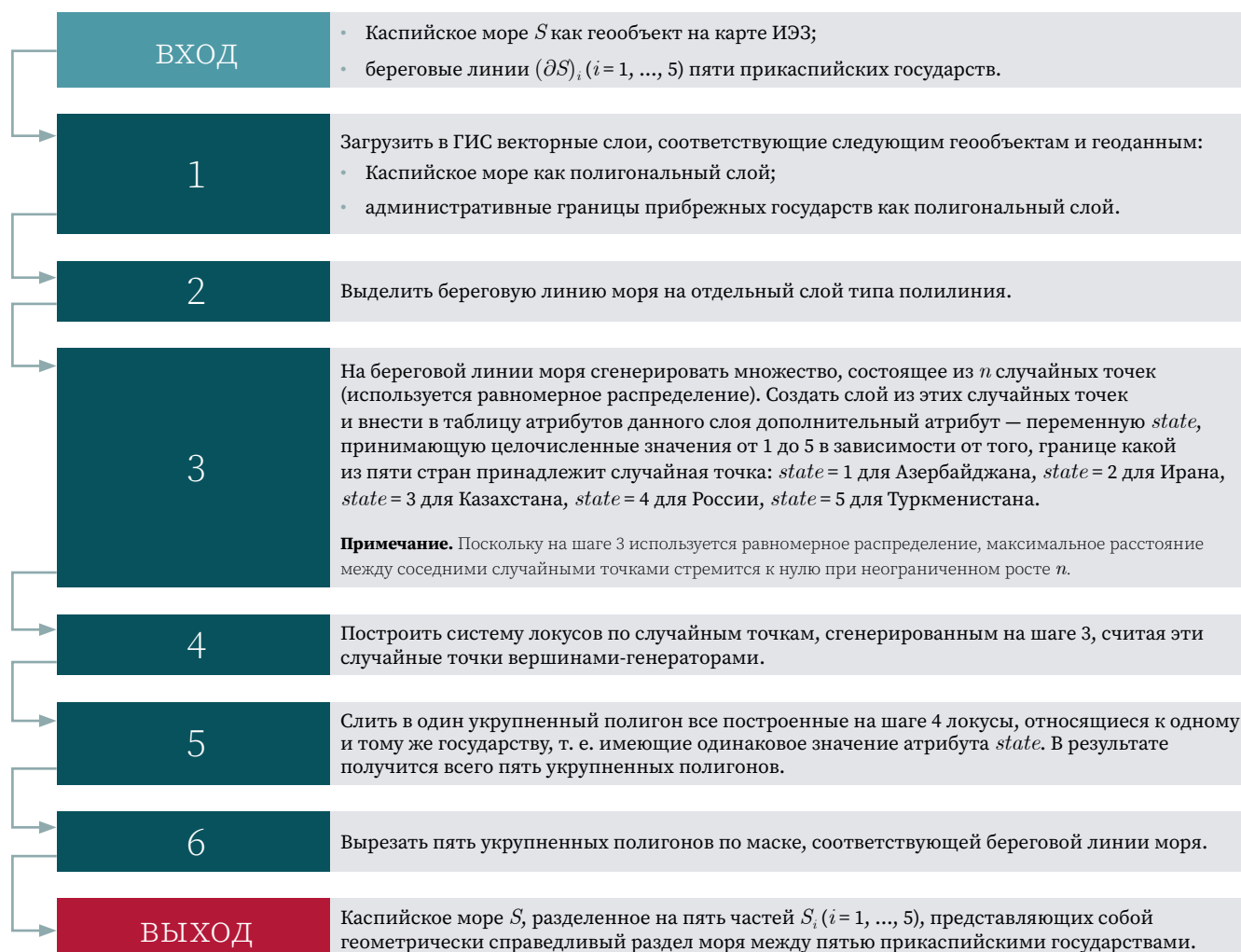
7 Croley T.E., Hartmann H.C. Resolving Thiessen Polygons // Journal of Hydrology. 1985. Vol. 76. P. 363–379.

вершин-генераторов системы локусов (или системы полигонов Вороного – Тиссена) в нижеследующем построении. Каждую точку  $P_k \in \{P_1, \dots, P_n\}$  снабдим атрибутом *state* – переменной, принимающей целочисленные значения от 1 до 5 и соответствующей государству, содержащему точку  $P_k$  в своей береговой границе, где *state* = 1 для Азербайджана, *state* = 2 для Ирана, *state* = 3 для Казахстана, *state* = 4 для России, *state* = 5 для Туркменистана. В случае, если  $P_k$  оказалась на границе сразу двух государств, атрибуту *state* присваивается значение любого из них. Далее строится система локусов для данного множества вершин-генераторов  $\{P_1, \dots, P_n\}$  на плоскости. Как объяснено выше, система локусов определяется следующими тремя свойствами:

- 1) каждый локус содержит ровно одну вершину-генератор  $P_k \in \{P_1, \dots, P_n\}$ ;
- 2) каждая вершина-генератор  $P_k$  находится внутри ровно одного локуса;
- 3) для каждого  $k \in \{1, \dots, n\}$  всякая точка внутри локуса, содержащего вершину-генератор  $P_k$ , расположена к  $P_k$  ближе, чем к любой другой вершине-генератору  $P_j$  ( $j \neq k$ ) (таким образом, локус, содержащий вершину-генератор  $P_k$ , можно рассматривать как область исключительного влияния  $P_k$ ).

### 3 Результаты

#### 3.1 Алгоритм



## 3.2 Реализация алгоритма в программной среде QGIS

Для решения задачи, поставленной выше, понадобится карта Каспийского моря с его береговой линией, а также сухопутными границами между пятью прикаспийскими государствами. С этой целью возьмем карту ИЭЗ (рис. 1). Шейп-файл такой ГИС-карты можно получить на сайте Marine Regions<sup>8</sup>. Заметим, что на этой карте также обозначен официальный на сегодняшний день раздел дна Каспия между пятью прикаспийскими государствами. Далее этот официальный раздел дна Каспия сравнивается с геометрически справедливым разделом, полученным в настоящей работе.

Важно отметить, что граница раздела Каспийского моря на рис. 1 двухцветная: одна часть границы обозначена синими линиями, а другая — черными, причем, согласно легенде к карте, границы синего цвета между Азербайджаном и Россией, а также между Россией и Казахстаном договорные, т. е. они определены не как геометрически справедливые, а как результаты договоренностей между сопредельными государствами.

Главный результат настоящей статьи — предполагаемый раздел дна Каспия между пятью прикаспийскими государствами при соблюдении принципа геометрической справедливости.

В функционале современных информационных систем имеются специальные инструменты для построения полигонов Вороного — Тиссена. Одним из таких инструментов является бесплатное программное обеспечение QGIS<sup>9</sup>. Оно было выбрано для исследования как мощная и свободно распространяемая кросс-платформенная ГИС, в которой поддерживаются экспорт и импорт форматов файлов различных ГИС, текстовых и графических файлов, а также таблиц баз данных. Система QGIS имеет богатый встроенный функционал, в том числе построение полигонов Вороного — Тиссена. Имеется также возможность загрузки дополнительных модулей анализа данных. Ниже описывается, как реализуется алгоритм, описанный ранее, в программной среде QGIS.

### Вход

1. Береговая линия Каспийского моря, а также границы пяти прикаспийских государств (море было загружено как полигональный объект с веб-сайта Natural Earth<sup>10</sup>; пространственное разрешение геоданных устанавливается на максимальное значение 10 м, чтобы учесть все изломы береговой линии).
2. Набор геоданных по административным границам государств (загружается с веб-сайта VLIZ<sup>11</sup>).

### Шаг 1

Входные слои данных импортируются в проект QGIS в виде шейп-файлов. Из исходных слоев, загруженных на шаге 1, были выделены только интересующие нас геообъекты и геоданные, а именно: Каспийское море из первого слоя и сухопутные границы пяти прикаспийских государств (Азербайджан, Иран, Казахстан, Россия, Туркменистан) из второго слоя. Предварительно также были

8 Marine Regions. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://marineregions.org> (дата обращения: 09.06.2025).

9 Spatial without Compromise: Spatial Visualization and Decision-Making Tools for Everyone. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://qgis.org> (дата обращения: 09.06.2025).

10 Natural Earth. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.naturalearthdata.com> (дата обращения: 09.06.2025).

11 VLIZ: IMIS. The Intersect of the Exclusive Economic Zones and IHO Sea Areas, Version 5. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vliz.be/nl/imis?module=dataset&dasid=8660> (дата обращения: 09.06.2025).

удалены ненужные нам атрибуты из таблиц атрибутов входных слоев и добавлен атрибут *state* для нумерации государств.

**Шаг 2**

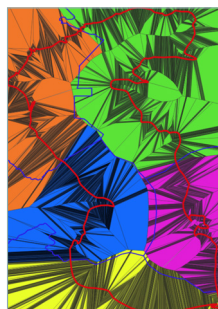
Береговая линия моря выделяется на отдельный слой типа полилиния. В среде QGIS есть соответствующий пункт меню для преобразования полигонов в полилинии.

**Шаг 3**



На границе моря генерируются  $n = 10\,000$  случайных точек (рис. 2). Это число достаточно велико для адекватного моделирования, потому что при увеличении  $n$  получаемый раздел Каспия визуально перестает изменяться. В любом случае  $n$  — изменяемый параметр алгоритма, и при необходимости его можно увеличить. Далее слой с генерированными случайными точками накладывается на слой с границами государств для извлечения информации о том, какому государству принадлежит конкретная случайная точка.

**Шаг 4**



Строится система локусов по множеству случайных точек, сгенерированных на шаге 3. Результат этого построения представлен на рис. 3. Для вызова функции, которая строит полигоны Вороного — Тиссена, в среде QGIS есть специальный пункт меню — «Вектор / Обработка геометрии / Полигоны Вороного». На рис. 3 границы построенных локусов выделены черным цветом, многие из них сливаются, образуя черные области. Это объясняется большим числом узких локусов, которые, если их рассматривать вместе, визуально образуют черные области.

**Шаг 5**

Все построенные на шаге 4 локусы, соответствующие одному государству, сливаются в один полигон. Другими словами, в один полигон объединяются все локусы, имеющие одинаковые значения атрибута *state*. В результате получаются пять укрупненных полигонов, которые и дают искомый раздел Каспия между пятью прикаспийскими государствами. Как видно по рис. 3, процесс построения локусов распространился за пределы береговой границы моря, поэтому сухопутные части локусов удаляются путем обрезки по маске *S*. На рис. 4, где части моря выделены заливкой разных цветов, соответствующих пяти прикаспийским государствам, эта маска обозначена внешней красной линией, совпадающей с береговой границей Каспийского моря.



**Выход**

Геометрически справедливый раздел дна Каспийского моря *S* на пять частей между пятью прикаспийскими государствами (рис. 4) (полученные в результате раздела участки окрашены в цвета соответствующих государств [ср. рис. 3] и обрамлены внешней красной линией, совпадающей с береговой границей Каспийского моря).

**Рис. 2** Наложение слоя со случайными точками на слой с границами государств

**Fig. 2** Layer with random points is laid on the layer with state borders

**Рис. 3** Система локусов для случайных точек, сгенерированных на рис. 2

**Fig. 3** System of loci for the random points generated in Fig. 2

**Рис. 4** Раздел дна Каспия в геоинформационной системе QGIS

**Fig. 4** Division of the Caspian seabed in QGIS

**Условные обозначения**  
 — официальные границы дна Каспия в соответствии с картой исключительных экономических зон

## 4 Обсуждение

Хотя официальные границы раздела дна Каспия между пятью прикаспийскими государствами до сих пор окончательно не утверждены (конвенция до сих пор не ратифицирована Ираном), существуют официальные карты ИЭЗ. Интересно приведенное на рис. 4 сопоставление действующего раздела дна Каспия по карте ИЭЗ и геометрически справедливого раздела, полученного в настоящей статье при помощи полигонов Вороного — Тиссена. Заметим, что, согласно рис. 4, в некоторых местах Каспийского моря, например в центральной части границы дна между Азербайджаном и Казахстаном, граница дна по карте ИЭЗ практически совпадает с полученной нами границей. Однако в других местах наблюдаются отклонения границ, особенно между Ираном, Азербайджаном и Туркменистаном. Эти отклонения частично объясняются следующими причинами.

Первая и основная причина заключается в том, что реальные границы устанавливаются, основываясь не только на геометрических принципах, но и на результатах переговоров между прикаспийскими государствами. Например, в оказавшемся в российской зоне небольшом прямоугольном выступе в верхней части моря (рис. 1–4), в котором сосредоточены значительные запасы природного газа, видимо, были советские добывающие скважины и инфраструктурные установки, которые перешли к России.

Вторая причина состоит в том, что, согласно Конвенции ООН по морскому праву<sup>12</sup>, границей государства по морю может быть как линия наибольшего отлива вдоль берега (статья 5, раздел 2), так и прямая исходная линия, соединяющая соответствующие точки (статья 7). В данном исследовании в качестве границы моря была взята его граница, определенная физической картой (слой 1 на шаге 1), и не использовалась карта, показывающая линию наибольшего отлива, или карта с упрощением изрезанных границ, особенно таких сложных, как в месте впадения Волги в Каспийское море.

Третья причина состоит в том, что уровень Каспийского моря имеет тенденцию к падению с середины 1990-х годов и может упасть на 9–18 м до конца XXI века, вследствие чего площадь поверхности моря сократится на 23 % при падении уровня моря на 9 м и на 34 % — при падении на 18 м [7]. (Такие катастрофические процессы происходят из-за глобального потепления климата и уменьшения количества осадков в бассейне Волги.) Таким образом, береговая линия самого моря постоянно претерпевает изменения.

В качестве четвертой причины можно указать тот факт, что граница моря и прибрежные границы государств были взяты с разных карт, которые находятся в общедоступных источниках. Карты имеют разные разрешения изображения и системы координат, которые затем нужно привести к одной, и при этом могут возникнуть искажения. Можно отметить, что для решения большинства задач по разделу полигонального геообъекта входные данные могут быть упрощены до границы полигона и точек на ней, которые делят эту границу на отдельные части. В этом случае подобных проблем не возникнет.

## 5 Выводы

В данной статье продемонстрированы уникальные возможности геоинформационного подхода в решении задачи раздела географического водного объекта на части при соблюдении условия геометрической справедливости.

<sup>12</sup> Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву: ратифицирована Федеральным законом РФ от 26 февраля 1997 г. № 30-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1900747> (дата обращения: 05.06.2025).

Преимущество предлагаемого подхода состоит в учете сложного рельефа местности и излома границ. В то же время использование математически строгого критерия геометрической справедливости раздела водного геообъекта на части позволяет осуществлять моделирование с высокой степенью точности. В перспективе при изменении береговой линии Каспийского моря или других входных геоданных раздел дна Каспия легко будет уточнить и перестроить с помощью ГИС.

Полученный результат по разделу дна Каспия следует рассматривать как демонстрацию авторского метода раздела этого водного геообъекта на части между прибрежными государствами по данному разделению береговой границы геообъекта на участки границ прибрежных государств. Авторы ни в коей мере не оспаривают официально признанный на сегодняшний день раздел дна Каспия. Предложенный в статье геометрический подход можно использовать как базовый инструмент для геометрически справедливого раздела любых водных геообъектов (например, раздела поверхности озера Онтарио между США и Канадой [8, 9], поверхности озера Байкал между Иркутской областью и Республикой Бурятия [10] и т. д.).

В перспективе предлагаемый метод можно применять для геометрически справедливого раздела любых геообъектов, таких как водные объекты, лесопарки, лесные массивы и др. Целями такого раздела могут быть, например, оптимизация выполнения каких-либо работ внутри геообъекта, мониторинг состояния геообъекта, его санитарная обработка и т. п. Геометрически справедливый раздел означает, что точка внутри геообъекта принадлежит тому собственнику или той административной единице (например, государству, субъекту федерации, муниципальному образованию или юридическому лицу), к границе которого (которой) эта точка наиболее близко расположена. Например, если на озере Байкал проводится поисково-спасательная операция, то поисковые работы можно разделить между двумя прибрежными федеральными субъектами — Иркутской областью и Республикой Бурятия. Преимущество предлагаемого в данном исследовании метода заключается в том, что геометрически справедливый раздел геообъекта можно осуществить легко и быстро при помощи ГИС. Таким образом, цель настоящей работы достигнута.

#### БЛАГОДАРНОСТИ


Авторы благодарят А.В. Тимофеевко, профессора Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева, за предоставленную возможность выступить с докладом по теме статьи в Красноярском математическом центре и за рекомендации по улучшению текста, а также профессоров Я.В. Кучериненко (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова) и О.Е. Афанасьева (Российский государственный университет туризма и сервиса) за полезные комментарии и предложения по докладу и статье. Отдельная благодарность первого автора адресована Олегу Полубасову и Константину Кнопку за продуктивные обсуждения биссекторного подхода к задаче геометрически справедливого раздела внутренности выпуклого полигона между его сторонами. Авторы планируют развивать биссекторный подход в будущих исследованиях.

#### БИБЛИОГРАФИЯ



1. Сейед Х.Х.Х. Каспийский ресурс и интересы Ирана в этом регионе // Теории и проблемы политических исследований. 2017. Т. 6, № 4А. С. 101–112.
2. Абуталиева И.Р. Нефтегазоносность и основные источники углеводородного загрязнения Северного Каспия // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2005. № 6(29). С. 158–162.
3. Серикова У.С. Основные этапы развития нефтегазовой промышленности в Каспийском регионе // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 6. С. 70–83. DOI:10.32454/0016-7762-2022-64-6-70-83.
4. Серикова У.С., Алиев Э.М., Потемкин Г.Н. и др. Современное состояние разведки и освоения месторождений нефти и газа в Каспийском море // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2024. Т. 66, № 3. С. 31–44. DOI:10.32454/0016-7762-2024-66-3-31-44.
5. Han D., Bray M. Automated Thiessen Polygon Generation // Water Resources Research. 2006. Vol. 42. Is. 11. P. W11502. DOI:10.1029/2005WR004365.

6. Pokojski W., Pokojaska P. Voronoi Diagrams – Inventor, Method, Applications // Polish Cartographical Review. 2018. Vol. 50. Is. 3. P. 141–150. DOI:10.2478/pcr-2018-0009.
7. Prange M., Wilke T., Wesselinh F.P. The Other Side of Sea Level Change // Communications Earth & Environment. 2020. Vol. 1. P. 69. DOI:10.1038/s43247-020-00075-6.
8. Salter M., Geneviève P. The Securitization of the US – Canada Border in American Political Discourse // Canadian Journal of Political Science. 2011. Vol. 44. Is. 4. P. 929–951. DOI:10.1017/S0008423911000813.
9. Von Hlatky S., Trisko J.N. Sharing the Burden of the Border: Layered Security Co-Operation and the Canada – US frontier // Canadian Journal of Political Science. 2012. Vol. 45. Is. 1. P. 63–88. DOI:10.1017/S0008423911000928.
10. Безруков Л.А. Географическое положение Иркутской области: особенности и влияние на экономическое развитие // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2017. Т. 20. С. 5–24.



**АВТОРЫ** **Лоренс Серж Александрович**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса»,  
Подольск, Россия;  
НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан  
кафедра криптологии, механико-математический факультет  
канд. физ.-мат. наук, доцент  
 0000-0002-5198-1633



**Руденко Валентина Михайловна**

 v.m.rudenko@gmail.com  
ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса»,  
Подольск, Россия  
Институт сервисных технологий  
канд. физ.-мат. наук, доцент  
 0000-0002-8364-5837

**Челяпина Ольга Ивановна**

 olga-chelyapina@mail.ru  
ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса»,  
Подольск, Россия  
Институт сервисных технологий  
канд. техн. наук, доцент  
 0000-0002-3555-8392

**Мархабатов Нурлан Дарханулы**

 markhabatov@gmail.com  
НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан  
кафедра криптологии, механико-математический факультет  
канд. физ.-мат. наук, доцент  
 0000-0002-5088-0208

Поступила 11.06.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# A Geoinformatics Approach to Solving the Problem of Geometrically Fair Division of the Caspian Seabed Between the Caspian States

**Serge A. Lawrence<sup>1,2</sup>✉, Valentina M. Rudenko<sup>2</sup>,  
Olga I. Chelyapina<sup>2</sup>, Nurlan D. Markhabatov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup> Russian State University of Tourism and Service, Podolsk, Russia

✉ serge.a.lawrence@gmail.com

**CITATION** Lawrence SA, Rudenko VM, Chelyapina OI, Markhabatov ND. A Geoinformatics Approach to Solving the Problem of Geometrically Fair Division of the Caspian Seabed Between the Caspian States. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 111–123. DOI:10.30533/GiA-2025-052.

**KEYWORDS** geographic information system, QGIS, Voronoi – Thiessen polygons, Caspian Sea, division of the Caspian seabed

**ABSTRACT** Since the Caspian seabed is extremely rich in hydrocarbon resources, there arises an urgent problem of dividing the Caspian seabed between the five Caspian littoral states for development and extraction of oil and natural gas. In this paper we provide a final solution to this long-standing problem. It should be said right away that according to the Convention on the Legal Status of the Caspian Sea (Aktau, 2018), the surface and waters of the Caspian are considered common to the ships of all Caspian states, so there is no practical problem of dividing the surface of the Caspian. However, we will still find a (conditional) geometrically fair division of the Caspian Sea surface, not as a purpose but as an intermediate result, and then the orthogonal projection of the obtained division of the sea surface onto the sea bottom will give the desired division of the Caspian Sea bottom. The concept of geometric justice is understood in the sense that a point on the surface of the sea belongs, for example, to Iran if and only if this point is closest to the coast of Iran. Thus, although the surface of the Caspian Sea plays a secondary role, we need an algorithm for a geometrically fair division of the sea surface between the five Caspian states. The article presents an algorithm for a geometrically fair division of the Caspian Sea surface between the five Caspian states, using Voronoi – Thiessen polygons. The algorithm is implemented in the QGIS geographic information system. The resulting division of the Caspian Sea is compared with the one officially recognized today. It is pointed out that although geometric justice

is basic, superstructural factors (such as economic, natural, financial and geopolitical) are no less important. The geoinformation approach proposed in the paper can be applied to division of any geo-objects.


**ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors thank professor A.V. Timofeenko, V.P. Astafyev Krasnoyarsk State Pedagogical University, for giving us the opportunity to present a talk on the topic of the article at the Krasnoyarsk Mathematical Center. We also thank professors A.V. Timofeenko, Ya.V. Kucherinenko, M.V. Lomonosov Moscow State University, and O.E. Afanasyev, Russian State University of Tourism and Service, for useful comments and suggestions on the talk and article. Besides, the first author thanks Oleg Polubasov and Konstantin Knop for useful discussions of the bisector approach to the problem of geometrically fair division of the interior of a convex polygon between its sides. The authors plan to develop the bisector approach in future studies.



**REFERENCES**

1. Seyed HHK. Kaspiiskii resurs i interesy Irana v etom regione [Caspian Resource and Iran's Interests in This Region]. *Theories and Problems of Political Studies*. 2017;6(4A): 101–112. (In Russian).
2. Abutalieva IR. Neftegazonosnost' i osnovnye istochniki uglevodorodnogo zagryazneniya Severnogo Kaspiya [Oil and Gas Content and Main Sources of Hydrocarbon Pollution of the Northern Caspian]. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University*. 2005;6(29): 158–162. (In Russian).
3. Serikova US. Osnovnye etapy razvitiya neftegazovoi promyshlennosti v Kaspiiskom regione [Main Stages of Oil and Gas Industry Development in the Caspian Region]. *Proceedings of Higher Educational Establishments: Geology and Exploration*. 2022;6: 70–83. (In Russian). DOI:10.32454/0016-7762-2022-64-6-70-83.
4. Serikova US, Aliev JEM, Potemkin GN, et al. Sovremennoe sostojanie razvedki i osvoeniya mestorozhdenij nefti i gaza v Kaspijskom more [Current State of Exploration and Development of Oil and Gas Fields in the Caspian Sea]. *Proceedings of Higher Educational Establishments: Geology and Exploration*. 2024;66(3): 31–44. (In Russian). DOI:10.32454/0016-7762-2024-66-3-31-44.
5. Han D, Bray M. Automated Thiessen Polygon Generation. *Water Resources Research*. 2006;42(11): W11502. DOI:10.1029/2005WR004365.
6. Pokojski W, Pokojaska P. Voronoi Diagrams – Inventor, Method, Applications. *Polish Cartographical Review*. 2018;50(3): 141–150. DOI:10.2478/pcr-2018-0009.
7. Prange M, Wilke T, Wesselinh FP. The Other Side of Sea Level Change. *Communications Earth & Environment*. 2020;1: 69. DOI:10.1038/s43247-020-00075-6.
8. Salter MB, Geneviève P. The Securitization of the US – Canada Border in American Political Discourse. *Canadian Journal of Political Science*. 2011;44.4: 929–951.
9. Von Hlatky S, Trisko JN. Sharing the Burden of the Border: Layered Security Co-Operation and the Canada – US Frontier. *Canadian Journal of Political Science*. 2012;45(1): 63–88. DOI:10.1017/S0008423911000928.
10. Bezrukov LA. Geograficheskoe polozhenie Irkutskoi oblasti: osobennosti i vliyanie na ekonomicheskoe razvitiye [The Economic-Geographical Position of Irkutsk Region: Features and Impact on the Economic Development]. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"*. 2017;20: 5–24. (In Russian).

**AUTHORS****Serge A. Lawrence**

Russian State University of Tourism and Service, Podolsk, Russia;  
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan  
Department of Cryptology, Faculty of Mechanics and Mathematics  
PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor  
 0000-0002-5198-1633

**Valentina M. Rudenko**

 v.m.rudenko@gmail.com  
Russian State University of Tourism and Service, Podolsk, Russia  
Institute of Service Technologies  
PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor  
 0000-0002-8364-5837

**Olga I. Chelyapina**

✉ olga-chelyapina@mail.ru

Russian State University of Tourism and Service, Podolsk, Russia

Institute of Service Technologies

PhD in Engineering, Associate Professor

🆔 0000-0002-3555-8392

**Nurlan D. Markhabatov**

✉ markhabatov@gmail.com

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Department of Cryptology, Faculty of Mechanics and Mathematics

PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

🆔 0000-0002-5088-0208

Submitted: June 11, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Методические основы автоматизированного создания карт промышленности

С.А. Крылов<sup>1</sup>✉, Е.В. Правский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия  
✉ krylovs@miigaik.ru

**ЦИТИРОВАНИЕ** Крылов С.А., Правский Е.В. Методические основы автоматизированного создания карт промышленности // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 124–139. DOI:10.30533/GiA-2025-064.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** картографирование промышленности, объекты и показатели промышленности, тематическая база данных, отрасль промышленности

**АННОТАЦИЯ** Проанализированы исследования, посвященные картографированию промышленности, рассмотрены существующие наработки по автоматизации отдельных процессов составления карт промышленности, отмечено использование таких наработок в современных условиях. Разработаны методические основы автоматизированного картографирования промышленности, позволяющие устанавливать и создавать возможные виды карт с учетом доступности данных на территории различных российских регионов (федеральных и военных округов, экономических районов и субъектов РФ). Предложены подходы и решения по определению на выбранную территорию доступных для создания карт промышленности, перечня объектов карты, картографируемых показателей и их оптимального сочетания, основанные на современном информационном обеспечении и учитывающие опыт создания изданных карт промышленности. Для автоматизированного проектирования тематического содержания мультимасштабных карт промышленности предложены способы распределения слоев и отбора тематических объектов на разных масштабных уровнях. Предлагаемые в ходе исследования методические и технологические решения обеспечат автоматизированное создание и оперативное обновление карт современного состояния промышленности и отраслевых карт на основе актуальных открытых источников. При этом решается задача по картографированию большого массива современных статистических и расчетных показателей промышленности.

# 1 Введение

Цели и задачи современной промышленной политики Российской Федерации заключаются в формировании высокотехнологичной и конкурентоспособной промышленности. В условиях санкционного давления западных стран принимаются меры по суверенизации отечественной экономики, при этом одним из ключевых направлений является реиндустриализация — возрождение промышленного потенциала страны. Создаются новые предприятия, активно развиваются современные формы территориальной организации промышленности: кластеры, индустриальные парки, холдинги [1, 2].

Для анализа происходящих в индустриальном секторе изменений и эффективного планирования промышленного развития особую актуальность приобретают задачи оперативного создания, регулярного обновления и повышения информативности карт промышленности на основе доступных источников, внедрение методов автоматизации процессов проектирования и составления карт. При этом в настоящее время активно применяется картографическая продукция современных видов (интерактивные и мультимасштабные карты, электронные атласы, картографические веб-сервисы, ГИС-проекты, геопорталы и т. д.), к созданию которой требуются специальные подходы [3, 4]. Проводятся также исследования по формированию геопространственных знаний о территориях на основе геоданных и отраслевых знаний [5].

Следует отметить, что вопросам современного социально-экономического картографирования уделяется довольно много внимания в научной литературе. Общие аспекты создания социально-экономических карт рассматриваются в работах [6–11]. Методические и технологические решения отдельных процессов создания тематических карт социально-экономической направленности приводятся в статьях [12–16]. Так, в [12] освещаются вопросы проектирования картографических баз данных, в [13, 14] рассматриваются подходы к автоматизации картографических процессов в тематическом картографировании; в [15, 16] приводятся решения по реализации способов картографического изображения в геоинформационных системах. Отдельно стоит отметить исследования, посвященные социально-экономическому мультимасштабному картографированию [17, 18].

Исключительно картографированию промышленности посвящены работы [19–32]. Среди них можно выделить труды [19–21], в которых всесторонне раскрыты методические особенности и принципы составления карт промышленности. Вопросы общей характеристики промышленности рассматриваются в ряде исследований [22–28]. Так, в статьях [22–24] описываются подходы к созданию карт, отражающих современное состояние промышленности. В работе [25] анализируется отображение промышленных районов (*англ.* Marshallian Industrial Districts) средствами ГИС. В статьях [26–28] рассматриваются вопросы картографической визуализации истории развития промышленности. Работы [29–32] посвящены отраслевому картографированию промышленности. Например, в исследовании [29] рассматриваются общие аспекты создания отраслевых карт промышленности с применением ГИС. В [30] освещаются особенности картографирования добывающей промышленности, в [31] — вопросы картографирования обрабатывающей промышленности. Созданию карт лесной промышленности посвящено исследование [32]. Следует также отметить работы, в которых рассматривается динамика изменений промышленных территорий различных городов мира [33] и оптимальное размещение промышленного производства с помощью ГИС [34].

Анализ научных работ позволяет сделать вывод, что в современном картографировании промышленности активно применяются геоинформационные технологии, однако вопрос автоматизации отдельных картографических процессов остается недостаточно разработанным. Последние масштабные исследования по автоматизации картографирования промышленности проводились в конце

XX века<sup>1,2</sup>. В частности, Б.А. Дворкин представил основные положения и принципы автоматизированной системы картографирования промышленности. Работа такой системы заключается в определении отраслевой структуры промышленных пунктов на основе сформированного справочно-информационного фонда. В автоматизированном варианте производятся следующие операции: отбор промышленных пунктов и определение их размеров, преобразование исходной информации в соответствии с легендой, определение отраслевой структуры промышленных пунктов, формирование рабочих документов и оригиналов карт. Данные разработки получили свое развитие в исследованиях Е.Е. Норвайшене, усовершенствовавшей классификацию отраслей промышленности на основе Общесоюзного классификатора отраслей народного хозяйства, доработавшей алгоритмы определения отраслевой структуры промышленных пунктов и разработавшей комплекс алгоритмов и программ, который обеспечивает формирование и функционирование базы данных промышленных пунктов. Следует отметить, что рассмотренные наработки по автоматизации процессов создания карт промышленности в настоящее время применимы лишь частично, что связано с внедрением в современное картографическое производство геоинформационных технологий, геоинформационных систем и систем управления базами данных. На сегодняшний день остаются нерешенными вопросы автоматизированного проектирования содержания карт промышленности на основе большого массива актуальных данных, находящихся в открытом доступе. Это особенно важно при создании мультимасштабных карт, где тематическое содержание и способы картографического изображения меняются при изменении масштаба. Цель данного исследования состоит в разработке методических основ автоматизированного картографирования промышленности, позволяющих устанавливать и создавать возможные виды карт промышленности, в том числе мультимасштабные, с учетом доступности данных на территории различных регионов Российской Федерации.

## 2 Материалы и методы

Предлагаемые методические решения базируются на проводимых на кафедре картографии Московского государственного университета геодезии и картографии исследованиях по автоматизации процессов тематического и мультимасштабного картографирования [35–39]. Для картографирования промышленности России разработана система информационного обеспечения, включающая в себя следующие элементы: сведения из общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации [40]; перечни показателей промышленности из статистических источников, находящихся в открытом доступе; авторскую систему классификации и кодирования карт промышленности; справочно-поисковую систему изданных карт промышленности [41]; картографическую и тематическую базы данных. В качестве исходных данных для формирования тематической базы данных промышленности используются следующие открытые картографические и статистические источники: Единая электронная картографическая основа (ЕЭКО) масштабов 1 : 100 000, 1 : 1 000 000; Государственная информационная система промышленности (ГИСП); Единый фонд геологической информации о недрах (ЕФГИ); статистические сборники «Регионы России.

1 Дворкин Б.А. Совершенствование картографирования промышленности в условиях современного картосоставительского производства: на примере карт широкого пользования: дис. ... канд. геогр. наук. М., 1985. 184 с.

2 Норвайшене Е.Е. Разработка методики формирования классификаций отраслей промышленности на мелкомасштабных социально-экономических картах: с применением средств автоматизации: дис. ... канд. геогр. наук. М., 1991. 213 с.

Социально-экономические показатели»<sup>3</sup>; Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС); публикации территориальных органов Федеральной государственной службы статистики (Росстата); База данных показателей муниципальных образований (БД ПМО). В работе также применяются общероссийские классификаторы экономических регионов (ОКЭР) и территорий муниципальных образований (ОКТМО).

### 3 Результаты и обсуждение

В результате исследования были разработаны следующие методические подходы и решения по автоматизированному созданию карт промышленности для атласов, ГИС-проектов, картографических веб-сервисов:

- определение вида карт и картографируемых показателей промышленности на заданную территорию Российской Федерации в зависимости от наличия исходных данных;
- проектирование содержания карт промышленности.

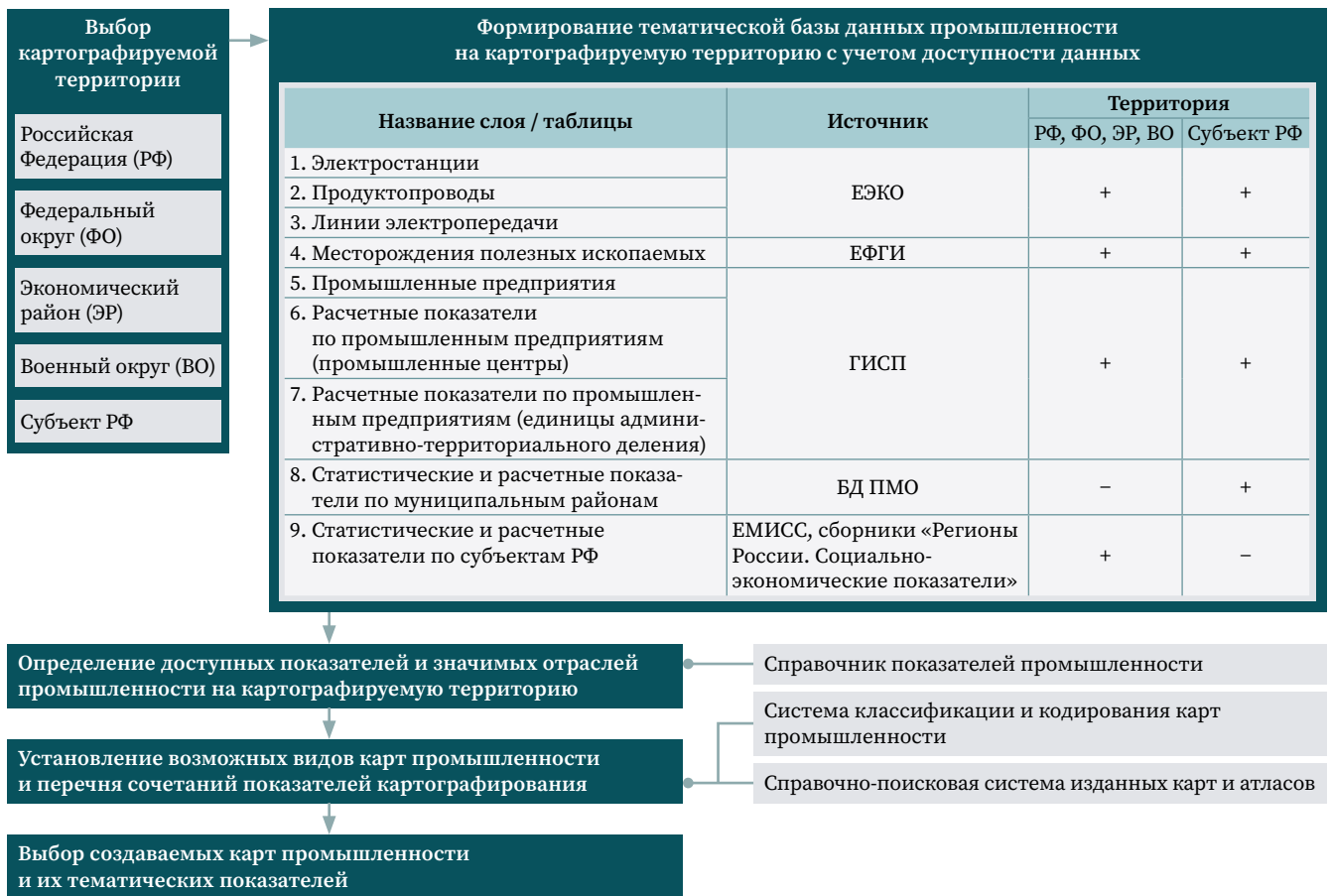
#### 3.1 Определение вида карт на картографируемую территорию и показателей ее промышленности с учетом доступности данных

Автоматизированное проектирование карт промышленности требует формализации задач по определению вида создаваемых карт, перечня объектов и показателей промышленности, составляющих тематическое содержание карты, и их оптимального сочетания. Предлагается технология, основанная на информационном обеспечении картографирования промышленности и учитывающая опыт создания изданных карт соответствующей тематики (рис. 1).

На первом этапе выбирается картографируемая территория, в качестве которой может выступать вся территория Российской Федерации, ее федеральные округа, экономические районы и субъекты. Отдельного рассмотрения заслуживает вопрос создания карт промышленности военных округов, также связанный с административно-территориальным делением.

Второй этап предусматривает автоматизированное формирование тематической базы данных на картографируемую территорию на основе открытых источников. Из ЕЭКО для заданной территории формируются векторные слои, содержащие все электростанции, продуктопроводы, линии электропередачи (ЛЭП). На основе ЕФГИ создается точечный слой месторождений полезных ископаемых. Из ГИСП, ЕМИСС, БД ПМО и статистических сборников формируются таблицы, приведенные к разработанной структуре, соответствующей каждому источнику. Например, на основе данных ГИСП создается таблица с информацией о промышленных предприятиях во всех субъектах РФ, входящих в картографируемую территорию. Из статистических источников (сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели», ЕМИСС, БД ПМО) на заданную территорию программным путем выбираются тематические показатели, имеющие отношение к промышленности, которые затем заносятся в соответствующие таблицы, сгруппированные по единицам картографирования. Для геопривязки статистических показателей к административно-территориальным единицам используется коды ОКЭР и ОКТМО. Так, для каждой записи таблицы со статистическими показателями

<sup>3</sup> Регионы России. Социально-экономические показатели // Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 19.09.2025).



**Рис. 1** Технология определения доступных для создания карт промышленности, перечня объектов карты, картографируемых показателей и их оптимального сочетания

**Fig. 1** Technology for determining the industry maps available for creation, the list of map objects, mapped indicators and their optimal combination

необходимо определить код ОКЭР федерального округа и экономического района, а также код ОКТМО субъекта РФ (## 000 000). Таблице, сформированной на основе БД ПМО, присваивается также код ОКТМО муниципального района или округа (## ### 000). Для промышленных предприятий помимо названных кодов указывается код ОКТМО населенного пункта (## ### ## ##), в котором эти предприятия расположены. В случае проектирования тематической карты (например, мультимасштабной), где промышленные предприятия будут отображаться в виде значков, необходимо определить координаты предприятия путем адресного геокодирования. Помимо показателей промышленности, имеющих в статистических источниках, формируются расчетные показатели (например, вычисляются значения показателей на 1 км<sup>2</sup>, на 1000 человек, в процентах). Для промышленных предприятий сначала путем агрегирования данных по коду ОКТМО формируется статистика по размещению в административных единицах и населенных пунктах, затем рассчитываются картографируемые показатели. Были установлены следующие статистические данные, получаемые на базе таблицы промышленных предприятий:

- количество административных единиц (субъектов, районов), в которых размещены предприятия конкретной отрасли;
- количество населенных пунктов, в которых есть предприятия конкретной отрасли;
- количество предприятий в каждой отрасли промышленности;
- количество предприятий в населенных пунктах;
- количество предприятий, распределенных по отраслям в населенных пунктах;
- количество предприятий в каждой отрасли;
- количество предприятий в административных единицах (субъектах, районах);
- количество предприятий, размещенных в административной единице и распределенных по отраслям.

На основе данной статистики предлагается формировать следующие расчетные показатели, характеризующие промышленные предприятия:

- 1) распределение предприятий по основным отраслям в муниципальном образовании;
- 2) центры отраслей промышленности (структура);
- 3) центры отраслей промышленности (количество);
- 4) центры отдельной отрасли промышленности (количество);
- 5) доля предприятий в муниципальном образовании от общего количества;
- 6) число предприятий в муниципальном образовании на 1000 (10 000, 100 000) жителей;
- 7) доля предприятий отдельной отрасли в муниципальном образовании от общего количества предприятий отрасли;
- 8) число предприятий отдельной отрасли в муниципальном образовании на 1000 (10 000, 100 000) жителей.

На рис. 1 представлен первоначальный состав тематической базы данных промышленности, включающий восемь элементов при создании карты (серии карт) и девять элементов при разработке мультимасштабной карты, на которой картографирование происходит по разным административно-территориальным единицам (на среднемасштабных уровнях — по муниципальным районам и округам, на мелкомасштабных — сначала по субъектам, затем по федеральным округам). Состав базы данных может быть расширен за счет привлечения дополнительных узкоотраслевых источников в рамках разработки содержания отраслевых карт.

На основе тематической базы данных и справочника показателей промышленности, сформированного из анализируемых открытых источников, определяются показатели промышленности для выбранной территории, которые можно использовать при создании карт. При этом учитываются полнота данных, отсутствующие (нулевые) значения показателей и процент слабо дифференцированных (близких) значений каждого показателя в пределах всех единиц административно-территориального деления, входящих в картографируемую территорию. На этом этапе с использованием результатов статистики по промышленным предприятиям также устанавливается перечень наиболее значимых отраслей промышленности, на основе которого выбираются отраслевые показатели.

Выбранные показатели группируются по видам карт в соответствии с системой классификации и кодирования карт промышленности, в пределах каждого вида устанавливаются возможные сочетания показателей. Следует отметить, что рассматриваемая тематическая база данных обеспечивает создание карт современного состояния промышленности и отраслевых карт. При добавлении в базу данных показателей за предыдущие годы возможно создавать карты истории развития промышленности. Помимо анализа исходных данных необходимо ориентироваться и на разработанную справочно-поисковую систему изданных карт и атласов, которая позволит оценить степень изученности промышленности картографируемого региона России, выявить недостающие картографируемые показатели промышленности и установить отсутствующие виды отраслевых и других карт. В связи с тем, что в тематической базе данных промышленности хранится довольно много показателей, для одного вида карт промышленности (например, карты современного состояния промышленности) будет доступно несколько десятков сочетаний показателей. Определение возможных сочетаний зависит от применяемого для показателя промышленности способа картографического изображения в соответствии с характером локализации данного показателя. Например, для отображения расчетных показателей по промышленным предприятиям в населенных пунктах используется способ значков, в том числе с выделением отраслевой структуры. Для отображения показателей, локализованных в административно-территориальных единицах, применяется способ картограммы (для относительных значений) или картодиаграммы (для абсолютных значений). При этом в зависимости от территории картографирования (Россия, федеральный округ, экономический район, военный округ, субъект РФ) характер локализации показателей

по административным единицам будет различным (табл. 1). Для формализации выбора сочетания показателей создана база данных, в которой для каждого вида карт определен перечень нескольких (как правило, двух) взаимодополняемых показателей промышленности, отображаемых в основном разными способами картографического изображения.

**Таблица 1** ➔

Связи между характером локализации показателей промышленности, способами картографического изображения и территорией картографирования

**Table 1**

The relationship between the nature of localization of industrial indicators, methods of cartographic representation and the territory of mapping

Характер локализации показателей	Способ картографического изображения	Территория картографирования		
		Российская Федерация	Федеральный округ, экономический район, военный округ	Субъект РФ
<b>Расчетные показатели по промышленным предприятиям</b>				
В населенных пунктах	значки (в том числе с выделением структуры)	+	+	+
<b>Расчетные показатели по промышленным предприятиям, статистические и расчетные показатели (материалы Росстата и ЕМИСС)</b>				
В федеральных округах	картограммы и картодиаграммы	+	-	-
В субъектах РФ		+	+	-
В муниципальных районах (округах)		-	-	+

### 3.2 Автоматизированное проектирование содержания карт промышленности

Проектирование содержания выбранных карт промышленности на картографируемую территорию выполняется на основе сформированной тематической базы данных в зависимости от вида картографической продукции: карта (серия карт), мультимасштабная карта. В первом случае содержание проектируется для одного выбранного масштаба, во втором — на все масштабные уровни карты. При этом для мультимасштабных карт необходимо решить задачи автоматизированного распределения слоев и отбора тематических объектов на разных масштабных уровнях.

Рассмотрим возможное содержание региональной мультимасштабной карты современного состояния промышленности на разных масштабных уровнях в последовательности от крупного масштаба к мелкому. Вначале на крупномасштабных уровнях способом значков отображаются отдельные промышленные предприятия, месторождения полезных ископаемых, электростанции; способом линейных знаков — элементы промышленной инфраструктуры (электростанции, продуктопроводы, ЛЭП). С уменьшением масштаба предприятия заменяются на значки промышленных центров, локализованных в населенных пунктах; значки месторождений полезных ископаемых — на ареалы. При этом размер значков промышленных центров зависит от количества предприятий, структура знака определяет отраслевой состав. На мелкомасштабных уровнях на отдельных слоях способом картограммы и картодиаграммы отображаются сочетания картографируемых показателей как по промышленным предприятиям, так и по материалам Росстата и ЕМИСС. В табл. 2 приведен пример распределения предлагаемых слоев промышленности по масштабным уровням, сформированным по принципу двукратного уменьшения. Минимальный и максимальный масштаб формируется в зависимости от размера территории и количества тематических объектов.

Отбор тематических объектов выполняется для обеспечения оптимальной графической нагрузки карты независимо от вида создаваемой картографической продукции (карта / серия карт, мультимасштабная карта). Для мультимасштабной

**Таблица 2** 

Пример распределения слоев на региональной мультимасштабной карте промышленности

**Table 2**

Example of distribution layers on a regional multiscale industry map

карты промышленности также стоит задача корректного изменения состава точечных и линейных объектов промышленной инфраструктуры на разных масштабных уровнях в соответствии с критериями и цензами отбора, которые в зависимости от региона и исходных данных могут различаться. При этом отбор может проводиться по нескольким критериям. Например, для отбора ЛЭП используются две характеристики: «Состояние» и «Минимальное напряжение». В табл. 3 приведены предлагаемые критерии и цензы отбора объектов промышленности для региональной мультимасштабной карты на примере Липецкой области.

Слой	Способ картографического изображения	Масштаб						
		1 : 100 000	1 : 200 000	1 : 400 000	1 : 800 000	1 : 1 600 000	1 : 3 200 000	1 : 6 400 000
Электростанции	значки	+	+	+	+	+	+	-
Продуктопроводы	линейные знаки	+	+	+	+	+	-	-
ЛЭП	линейные знаки	+	+	+	+	+	-	-
Месторождения полезных ископаемых	значки	+	+	+	+	+	-	-
Промышленные предприятия	значки	+	+	-	-	-	-	-
Промышленные центры	значки (в том числе с выделением структуры)	-	-	+	+	+	+	+
Расчетные показатели по промышленным предприятиям	картограммы и картодиаграммы	-	-	-	+	+	+	+
Статистические и расчетные показатели (материалы Росстата и ЕМИСС)	картограммы и картодиаграммы	-	-	-	+	+	+	+

**Таблица 3** 


Критерии и цензы отбора объектов промышленности на региональной мультимасштабной карте (на примере Липецкой области)

**Table 3**

Criteria and qualifications for the selection of industrial facilities on a regional multi-scale map (for the Lipetsk region)

Слой	Критерий отбора	Масштаб			
		1 : 200 000	1 : 400 000	1 : 800 000	1 : 1 600 000
Промышленные предприятия / центры	Вид отрасли	все (меняется способ изображения)			
ЛЭП	Состояние (все, действующие, недействующие)	все	действующие		
	Минимальное напряжение, кВ	35	110	220	500
Продуктопроводы	Состояние	все	действующие		
	Минимальное количество труб	1	1	2	3
	Минимальная длина между станциями, км	60	70	120	130
Электростанции	Состояние	все	действующая		
	Минимальная тепловая мощность, Гкал/ч	150	150	180	1000
	Минимальная электрическая мощность, МВт	10	60	150	280
	Минимальный объем транспортировки, млн т/год	33,25	71,25		
Месторождения полезных ископаемых	Тип полезного ископаемого	в зависимости от общего количества объектов			

Для каждого тематического слоя на основе установленных параметров программным путем формируются таблицы отбора объектов, в верхней части которых располагаются наиболее значимые объекты, а в нижней — наименее значимые. Отображение объектов на разных масштабных уровнях указывается в отдельных полях, где объектам, рекомендованным к показу, присваивается статус «11»; объектам, рекомендованным к удалению, — «00». Порядок значимости объектов промышленности определяется предлагаемыми правилами ранжирования, приведенными в табл. 4. При этом для количественных характеристик используется принцип сортировки по убыванию. Следует также отметить, что для продуктопроводов таблица отбора будет состоять из двух частей (газо- и нефтепроводы).

**Таблица 4**   
Правила ранжирования для  
объектов промышленности

**Table 4**  
Ranking rules for industrial  
facilities

Объекты промышленности	Порядок ранжирования
ЛЭП	Напряжение (U), В
	Длина, мм
Продуктопроводы	Тип (газ или нефть)
	Количество труб, шт.
	Длина между станциями, км
Электростанции	Тип станции
	Электрическая мощность (P), МВт
	Годовой объем транспортировки (V), млн т/год
Месторождения полезных ископаемых	Тип полезного ископаемого

## 4 Выводы

Предлагаемые в ходе исследования методические и технологические решения обеспечат автоматизированное создание и оперативное обновление карт современного состояния промышленности и отраслевых карт на основе актуальных открытых источников. При этом решается задача по картографированию большого массива современных статистических и расчетных показателей промышленности. Полученные результаты могут быть использованы в тематическом и атласном картографировании, а также для разработки мультимасштабных карт промышленности, применяемых в ГИС-проектах и интерактивных картографических веб-сервисах.

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


- БИБЛИОГРАФИЯ**
1. Гонтарь Н.В. Факторы и современные особенности размещения промышленного комплекса России: монография. М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2013. 124 с.
  2. Ключев Н.Н. Актуальные изменения на промышленной карте России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. № 5. С. 660–673. DOI:10.31857/S2587556620050088.
  3. Андрюхина Ю.Н., Бугаков П.Ю., Касьянова Е.Л. и др. Цифровая картография: монография / под науч. ред. Д.В. Лисицкого. Новосибирск: СГУГиТ, 2023. 442 с.
  4. Лурье И.К. Цифровая эпоха в картографии: от автоматизации к картографическим сервисам // Вопросы географии. 2017. № 144. С. 15–28.
  5. Янкелевич С.С. Исследование процесса получения геопространственных знаний о территории // Геоинформатика. 2024. № 2. С. 64–70. DOI:10.47148/1609-364X-2024-2-64-70.

6. Вишневецкий Д.С., Харченко А.В., Хижняк В.Д. Общеэкономические карты как информационная основа и средство исследования социально-экономического пространства // *Пространственная экономика*. 2009. № 3. С. 64–73.
7. Дугарова Г.Б., Богданов В.Н. Опыт и перспективы социально-экономического картографирования Байкальского региона // *Известия Иркутского государственного университета*. Серия: Науки о Земле. 2019. Т. 30. С. 13–25. DOI:10.26516/2073-3402.2019.30.13.
8. Дугарова Г.Б., Богданов В.Н. Социально-экономическое картографирование восточных регионов России: тенденции и проблемы // *География и природные ресурсы*. 2020. № 1(160). С. 155–165. DOI:10.21782/GIPR0206-1619-2020-1(155-165).
9. Коновалова Н.В., Преминина Я.К. Методологические особенности экономического картографирования регионов // *Вестник Северного (Арктического) федерального университета*. Серия: Естественные науки. 2014. № 3. С. 25–30.
10. Лазебник О.А., Филиппова В.В., Саввинова А.Н. и др. Опыт и перспективы социально-экономического картографирования Якутии // *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. Серия: Науки о Земле. 2022. № 4(28). С. 117–127. DOI:10.25587/SVFU.2022.28.4.011.
11. Дышлюк С.С., Николаева О.Н., Ромашова Л.А. и др. Научно-методические основы формализации процессов составления тематических карт для реализации в среде ГИС // *Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2011. № 5. С. 91–93.
12. Прохорова Е.А., Семин В.Н. Картографические базы данных для социально-экономических карт // *Вестник Московского университета*. Серия 5: География. 2011. № 3. С. 33–39.
13. Гук А.П., Дышлюк С.С., Женибекова А.Б. Проблемы автоматической генерализации при тематическом картографировании в среде ГИС // *Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2014. № S4. С. 97–100.
14. Дышлюк С.С., Павлов Е.В. К вопросу автоматизированного создания тематических карт // *Сборник материалов VIII Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»*: в 3 т. Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 3. С. 169–172.
15. Загребин Г.И., Загребина Н.В. Применение генератора геометрии QGIS при геоинформационном тематическом картографировании // *Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 25–28 апреля 2024 г. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2024. С. 54–58.*
16. Черепанова Е.С., Киселева Е.С., Перминов С.И. и др. Математико-картографическое моделирование в социально-экономическом картографировании: особенности визуализации данных // *Географический вестник*. 2017. № 2(41). С. 137–147. DOI:10.17072/2079-7877-2017-2-137-147.
17. Самсонов Т.Е., Юрова Н.Д. Применение картограмм и картодиаграмм на мультимасштабных социально-экономических картах // *Геодезия и картография*. 2014. № 11. С. 30–38. DOI:10.22389/0016-7126-2014-893-11-30-38.
18. Юрова Н.Д., Самсонов Т.Е. Мультимасштабное социально-экономическое картографирование на примере производства строительных материалов в России // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. 2012. Т. 18. С. 469–476.
19. Ипполитова Н.А. Картографирование промышленности как основа территориальной организации хозяйства // *Геодезия и картография*. 2016. № 2. С. 38–45. DOI:10.22389/0016-7126-2016-908-2-38-45.
20. Ипполитова Н.А. Принципы и методы составления карт промышленности (для социально-экономических атласов) // *Геополитика и экогеодинамика регионов*. 2019. Т. 5(15). № 3. С. 153–161.
21. Радюк А.Г., Пейхвассер В.Н. Карты промышленности в комплексно-справочных атласах // *Информационные технологии в образовании, науке и производстве: материалы XI Международной научно-технической конференции, Минск, 21–22 ноября 2023 г. Минск: БНТУ, 2024. С. 432–438.*
22. Допчут А.А., Чупкиова С.А., Ондар М.М. Пространственный анализ промышленности Республики Тыва // *Московский экономический журнал*. 2021. № 1. С. 184–191. DOI:10.24411/2413-046X-2021-10053.



23. Чупикова С.А. ГИС-технологии при анализе основных показателей промышленности Республики Тыва // Трансграничные территории Востока России: факторы, возможности и барьеры развития: материалы Международной научно-практической конференции. Улан-Удэ: БГУ, 2021. С. 321–324.
24. Akaboev I.Z., Mirabdullaev B.B. Some Aspects of the Process of Creating an Industrial Map Using ArcGIS // Экономика и социум. 2020. № 11(78). С. 50–56. DOI:10.46566/2225-1545\_2020\_78\_50.
25. Boix R., Galetto V. Mapping Marshallian Industrial Districts in Spain // European Network on Industrial Policy (EUNIP) International Conference. Limerick, 2006. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.uv.es/raboixdo/references/2006/06004.pdf> (дата обращения: 25.09.2025).
26. Esteban-Oliver G., San José A., Martí-Henneberg J. Heritage as a Source of Studies into Industrial History: Using Digital Tools to Explore the Geography of the Industrialization // Frontiers in Digital Humanities. 2017. Vol. 4. P. 19. DOI:10.3389/fdigh.2017.00019.
27. Kolodziej K., Lejano R., Sassa C., et al. Mapping the Industrial Archeology of Boston // URISA Journal. 2004. Vol. 16. Iss. 1. P. 5–13.
28. Zhang J., Zhuo L., Sun H., et al. Construction of the Chinese Route of Industrial Heritage Based on Spatial and Temporal Distribution Analysis // Buildings. 2024. Vol. 14. Iss. 4. P. 1065. DOI:10.3390/buildings14041065.
29. Мельникова Е.П., Кацко С.Ю., Кокорина И.П. Отраслевые ГИС промышленности: современное состояние и перспективы развития // 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. 3. С. 207–210. DOI:10.33764/2687-041X-2024-3-207-210.
30. Тикунов В.С., Губанов М.Н., Горлов В.Н. Электронные карты добывающих отраслей промышленности России для высших учебных заведений // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2016. Т. 22, № 2. С. 331–338.
31. Almeida E., Silveira-Neto R., Rocha R. Manufacturing Location Patterns in Brazil // Papers in Regional Science. 2022. Vol. 101. Iss. 4. P. 839–874. DOI:10.1111/pirs.12672.
32. Макаренко Е.Л., Лопаткин Д.А. Картографирование лесной промышленности Байкальского региона // География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 121–128.
33. Yoo C., Zhou Y., Weng Q. Mapping 10-m Industrial Lands Across 1000+ Global Large Cities, 2017–2023 // Scientific Data. 2025. Vol. 12. Iss. 1. P. 278. DOI:10.1038/s41597-025-04604-w.
34. El Monhim B., Makkoui M., Benrbia K. Optimal Industrial Localization by Using Geographic Information Systems in the Nador Province (Northeast of Morocco) // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 527. P. 3009. DOI:10.1051/e3sconf/202452703009.
35. Загребин Г.И. Выбор оптимальных картографических проекций мультимасштабной карты // Геодезия и картография. 2025. Т. 86, № 4. С. 8–18. DOI:10.22389/0016-7126-2025-1018-4-8-18.
36. Загребин Г.И. Разработка методики автоматизированного выбора и построения элементов математической основы: дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 177 с.
37. Иванов А.Г., Булыгина О.А. Автоматизация процессов выбора способов изображения картографируемых объектов и явлений // Геодезия и картография. 2012. № 10. С. 27–32.
38. Крылов С.А., Загребин Г.И. Разработка методики использования картографической базы данных для тематического картографирования // Приложение к журналу «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка». Сборник статей по итогам научно-технической конференции. 2014. № 7–1. С. 101–102.
39. Крылов С.А., Загребин Г.И., Котова О.И. и др. Автоматизация процессов проектирования мультимасштабных карт: концептуальные основы и решения // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67, № 6. С. 6–20. DOI:10.30533/GiA-2023-063.
40. Правский Е.В. Общероссийские классификаторы как элемент информационного обеспечения картографирования промышленности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь.

- XXI Международный научный конгресс: сборник материалов в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2025. Т. 1, № 2. С. 138–142. DOI:10.33764/2618-981X-2025-1-2-138-142.
41. Правский Е.В., Крылов С.А. Разработка справочно-поисковой системы изданных карт промышленности в атласах регионов России // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXI Международный научный конгресс: сборник материалов в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2025. Т. 1, № 2. С. 143–147. DOI:10.33764/2618-981X-2025-1-2-143-147.

**АВТОРЫ** **Крылов Сергей Анатольевич**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра картографии, картографический факультет  
канд. техн. наук  
 0000-0002-5879-6502

**Правский Егор Владимирович**

 epravskiy@yandex.ru  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра картографии, картографический факультет  
 0009-0004-4811-7977

Поступила 02.10.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# Methodological Foundations of Automated Creation of Industry Maps

Sergey A. Krylov<sup>1</sup>✉, Egor V. Pravsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
✉ krylovs@miigaik.ru

**CITATION** Krylov SA, Pravsky EV. Methodological Foundations of Automated Creation of Industry Maps. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 124–139. DOI:10.30533/GiA-2025-064.

**KEYWORDS** industry mapping, industrial facilities and indicators, thematic database, branch of industry

**ABSTRACT** The research on industry mapping has been studied and analyzed, the existing developments on automation of individual industrial mapping processes have been reviewed, and their use in modern conditions has been noted. Methodological foundations of automated industry mapping have been developed, allowing for the establishment and creation of possible types of maps, taking into account the availability of data in various regions of the Russian Federation (federal and military districts, economic regions and subjects of the Russian Federation). Approaches and solutions are proposed for determining the available industry maps for the selected territory, the list of map objects, the mapped indicators and their optimal combination. The solutions are based on modern information support and take into account the experience of creating published maps of the industry. Solutions for the distribution of layers and the selection of thematic objects at different scale levels are proposed for the computer-aided design of the thematic content of multiscale industry maps. The methodological and technological solutions proposed in the course of the study will ensure the automated creation and prompt updating of maps of the current state of industry and branch maps based on current open sources. At the same time, the task of mapping a large array of modern statistical and computational indicators of industry is being solved.

**ACKNOWLEDGEMENTS** This work was supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project FSFE-2023-0005.


**REFERENCES** 1. Gontar NV. *Faktory i sovremennye osobennosti razmeshcheniya promyshlennogo kompleksa Rossii* [Factors and Modern Features of the Location of the Russian Industrial Complex] [monograph]. Moscow: Plekhanov RUE; 2013. 124 p. (In Russian).

2. Klyuev NN. Aktual'nye izmeneniya na promyshlennoi karte Rossii [Current Changes on the Industry Map of Russia]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2020;5: 660–673. (In Russian). DOI:10.31857/S2587556620050088.
3. Andryukhina YuN, Bugakov PYu, Kas'yanova EL, et al. *Tsifrovaya kartografiya* [Digital Cartography] [monograph]. Lisitsky DV. (ed.). Novosibirsk: SSUGT; 2023. 442 p. (In Russian).
4. Lurie IK. Tsifrovaya ehpokha v kartografii: ot avtomatizatsii k kartograficheskim servisam [The Digital Age in Cartography: From Automation to Cartographic Services]. *Problems of Geography*. 2017;144: 15–28. (In Russian).
5. Yankelevich SS. Issledovanie protsessa polucheniya geoprostranstvennykh znaniy o territorii [Investigation of the Process of Obtaining Geospatial Knowledge about a Territory]. *Geoinformatica*. 2024; (2): 64–70. (In Russian). DOI:10.47148/1609-364X-2024-2-64-70.
6. Vishnevsky DS, Kharchenko AV, Khizhnyak VD. Obshcheekonomicheskie karty kak informatsionnaya osnova i sredstvo issledovaniya sotsial'no-ehkonomicheskogo prostranstva [General Economic Maps as an Information Basis and a Means of Exploring the Socio-Economic Space]. *Spatial Economics*. 2009;3: 64–73. (In Russian).
7. Dugarova GB, Bogdanov VN. Opyt i perspektivy sotsial'no-ehkonomicheskogo kartografirovaniya Baikalskogo regiona [Experience and Prospects of Socio-Economic Mapping of the Baikal Region]. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"*. 2019;30: 13–25. (In Russian). DOI:10.26516/2073-3402.2019.30.13.
8. Dugarova GB, Bogdanov VN. Sotsial'no-ehkonomicheskoe kartografirovanie vostochnykh regionov Rossii: tendentsii i problemy [Socio-Economic Mapping of the Eastern Regions of Russia: Trends and Problems]. *Geography and Natural Resources*. 2020;1(160): 155–165. (In Russian). DOI:10.21782/GIPR0206-1619-2020-1(155-165).
9. Konovalova NV, Premnina YK. Metodologicheskie osobennosti ehkonomicheskogo kartografirovaniya regionov [Methodological Features of Economic Mapping of Regions]. *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series "Natural Sciences"*. 2014;3: 25–30. (In Russian).
10. Lazebnik OA, Filippova VV, Savvinova AN, et al. Opyt i perspektivy sotsial'no-ehkonomicheskogo kartografirovaniya Yakutii [Experience and Prospects of Socio-Economic Mapping of Yakutia]. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Series "Earth Sciences"*. 2022;4(28): 117–127. (In Russian). DOI:10.25587/SVFU.2022.28.4.011.
11. Dyshlyuk SS, Nikolaeva ON, Romashova LA, et al. Nauchno-metodicheskie osnovy formalizatsii protsessov sostavleniya tematicheskikh kart dlya realizatsii v srede GIS [Scientific and Methodological Foundations of the Formalization of Thematic Mapping Processes for Implementation in the GIS Environment]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2011;5: 91–93. (In Russian).
12. Prokhorova EA, Semin VN. Kartograficheskie bazy dannykh dlya sotsial'no-ehkonomicheskikh kart [Cartographic Databases for Socio-Economic Maps]. *Lomonosov Geography Journal*. 2011;3: 33–39. (In Russian).
13. Guk AP, Dyshlyuk SS, Zhenibekova AB. Problemy avtomaticheskoi generalizatsii pri tematicheskoi kartografirovanii v srede GIS [Problems of Automatic Generalization in Thematic Mapping in the GIS Environment]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2014;4: 97–100. (In Russian).
14. Dyshlyuk SS, Pavlov EV. K voprosu avtomatizirovannogo sozdaniya tematicheskikh kart [On the Issue of Automated Creation of Thematic Maps]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of VIII International Scientific Congress*. In 3 vols. Vol. 3. Novosibirsk: SSGA; 2012: 169–172. (In Russian).
15. Zagrebin GI, Zagrebina NV. Primenenie generatora geometrii QGIS pri geoinformatsionnom tematicheskoi kartografirovanii [Application of the QGIS Geometry Generator in Geoinformation Thematic Mapping]. *Geoinformation Mapping in the Regions of Russia: Proceedings of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, April 25–28, 2024*. Voronezh: Tsifrovaya poligrafiya; 2024: 54–58. (In Russian).
16. Cherepanova ES, Kiseleva ES, Perminov SI, et al. Matematiko-kartograficheskoe modelirovanie v sotsial'no-ehkonomicheskoi kartografirovanii: osobennosti vizualizatsii dannykh [Mathematical Cartographic Modeling in Socio-Economic

- Mapping: Features of Data Visualization]. *Geographical Bulletin*. 2017;2(42): 137–147. (In Russian). DOI:10.17072/2079-7877-2017-2-137-147.
17. Samsonov TE, Yurova ND. Primenenie kartogramm i kartodiagramm na mul'timasshtabnykh sotsial'no-ehkonomicheskikh kartakh [The Use of Cartograms and Cartodiagrams on Multi-Scale Socio-Economic Maps]. *Geodesy and Cartography*. 2014;11: 30–38. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2014-893-11-30-38.
  18. Yurova ND, Samsonov TE. Mul'timasshtabnoe sotsial'no-ehkonomicheskoe kartografirovanie na primere proizvodstva stroitel'nykh materialov v Rossii [Multi-Scale Socio-Economic Mapping Using the Example of Building Materials Production in Russia]. *InterCarto. InterGIS*. 2012;18: 469–476. (In Russian).
  19. Ippolitova NA. Kartografirovanie promyshlennosti kak osnova territorial'noi organizatsii khozyaistva [Industrial Mapping as the Basis of the Territorial Organization of the Economy]. *Geodesy and Cartography*. 2016;2: 38–45. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2016-908-2-38-45.
  20. Ippolitova NA. Printsipy i metody sostavleniya kart promyshlennosti (dlya sotsial'no-ehkonomicheskikh atlasov) [Principles and Methods of Mapping Industry (for Socio-Economic Atlases)]. *Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions*. 2019;5(15)3: 153–161. (In Russian).
  21. Radyuk AG, Peyhvasser VN. Karty promyshlennosti v kompleksno-spravochnykh atlasakh [Industrial Maps in Comprehensive Reference Atlases]. *Information Technologies in Education, Science and Production: Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference, Minsk, November 21–22, 2023*. Minsk: BNTU; 2024: 432–438. (In Russian).
  22. Dopchut AA, Chupikova SA, Ondar MM. Prostranstvennyi analiz promyshlennosti Respubliki Tyva [Spatial Analysis of the Industry of the Republic of Tyva]. *Moscow Economic Journal*. 2021;1: 184–191. (In Russian). DOI:10.24411/2413-046X-2021-10053.
  23. Chupikova SA. GIS-tehnologii pri analize osnovnykh pokazatelei promyshlennosti Respubliki Tyva [GIS Technologies in the Analysis of the Main Industrial Indicators of the Republic of Tyva]. *Cross-border Territories of the East of Russia: Factors, Opportunities and Barriers to Development: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Ulan-Ude: BSU; 2021: 321–324. (In Russian).
  24. Akaboev IZ, Mirabdullaev BB. Some Aspects of the Process of Creating an Industrial Map Using ArcGIS. *Economics and Society*. 2020;11(78): 50–56. DOI:10.46566/2225-1545\_2020\_78\_50.
  25. Boix R, Galetto V. Mapping Marshallian industrial districts in Spain. *European Network on Industrial Policy (EUNIP) International Conference*. Limerick, 2006. Available from: <https://www.uv.es/raboixdo/references/2006/06004.pdf> (Accessed 25 September 2025).
  26. Esteban-Oliver G, San José A, Martí-Henneberg J. Heritage as a Source of Studies into Industrial History: Using Digital Tools to Explore the Geography of the Industrialization. *Frontiers in Digital Humanities*. 2017;4: 19. DOI:10.3389/fdigh.2017.00019.
  27. Kolodziej K, Lejano R, Sassa C, et al. Mapping the Industrial Archeology of Boston. *URISA Journal*. 2004;16(1): 5–13.
  28. Zhang J, Zhuo L, Sun H, et al. Construction of the Chinese Route of Industrial Heritage Based on Spatial and Temporal Distribution Analysis. *Buildings*. 2024;14(4): 1065. DOI:10.3390/buildings14041065.
  29. Melnikova EP, Katsko SY, Kokorina IP. Otrasleyve GIS promyshlennosti: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya [Industrial GIS Industry: Current State and Development Prospects]. *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 3. Novosibirsk: SSUGT; 2024: 207–210. (In Russian). DOI:10.33764/2687-041X-2024-3-207-210.
  30. Tikunov VS, Gubanov MN, Gorlov VN. Ehlektronnye karty dobyvayushchikh otraslei promyshlennosti Rossii dlya vysshikh uchebnykh zavedenii [Electronic Maps of Russia's Extractive Industries for Higher Education Institutions]. *InterCarto. InterGIS*. 2016;22(2): 331–338. (In Russian).
  31. Almeida E, Silveira-Neto R, Rocha R. Manufacturing Location Patterns in Brazil. *Papers in Regional Science*. 2022;101(4): 839–874. DOI:10.1111/pirs.12672.

32. Makarenko EL, Lopatkin DA. Kartografirovanie lesnoi promyshlennosti Baikalskogo regiona [Mapping of the Baikal Region's Forest Industry]. *Geography and Natural Resources*. 2012;1: 121–128. (In Russian).
33. Yoo C, Zhou Y, Weng Q. Mapping 10-m Industrial Lands Across 1000+ Global Large Cities, 2017–2023. *Scientific Data*. 2025;12(1): 278. DOI:10.1038/s41597-025-04604-w.
34. El Monhim B, Makkoui M, Benrbia K. Optimal Industrial Localization by Using Geographic Information Systems in the Nador Province (Northeast of Morocco). *E3S Web of Conferences*. 2024;527: 3009. DOI:10.1051/e3sconf/202452703009.
35. Zagrebin GI. Vybora optimal'nykh kartograficheskikh proektsii mul'timasshtabnoi karty [Selection Optimal Cartographic Projections of a Multiscale Map]. *Geodesy and Cartography*. 2025;86(4): 8–18. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2025-1018-4-8-18.
36. Zagrebin GI. *Razrabotka metodiki avtomatizirovannogo vybora i postroeniya ehlementov matematicheskoi osnovy* [Development of a Methodology for Automated Selection and Construction of Elements of a Mathematical Basis] [dissertation]. Moscow; 2012. 177 p. (In Russian).
37. Ivanov AG, Bulygina OA. Avtomatizatsiya protsessov vybora sposobov izobrazheniya kartografiruemykh ob"ektov i yavlenii [Automation of the Processes of Selection Ways to Depict Mapped Objects and Phenomena]. *Geodesy and Cartography*. 2012;10: 27–32. (In Russian).
38. Krylov SA, Zagrebin GI. Razrabotka metodiki ispol'zovaniya kartograficheskoi bazy dannykh dlya tematicheskogo kartografirovaniya [Development of a Methodology for Using a Cartographic Database for Thematic Mapping]. *Prilozhenie k zhurnalu "Izvestiya Vuzov. Geodeziya i Aerofotos'emka". Collection of Articles on the Results of the Scientific and Technical Conference*. 2014;7(1): 101–102. (In Russian).
39. Krylov SA, Zagrebin GI, Kotova OI, et al. Avtomatizatsiya processov proektirovaniya mul'timasshtabnykh kart: konceptual'nye osnovy i resheniya [Automation of Multiscale Map Design Processes: Conceptual Foundations and Solutions]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2023;67(6): 6–20. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2023-063.
40. Pravsky EV. Obshcherossiiskie klassifikatory kak ehlement informatsionnogo obespecheniya kartografirovaniya promyshlennosti [All-Russian Classifiers as an Element of Information Support for Industrial Mapping]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of XXI International Scientific Congress*. In 8 vols. Vol. 1. Iss. 2. 2025: 138–142. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2025-1-2-138-142.
41. Pravsky EV, Krylov SA. Razrabotka spravochno-poiskovoi sistemy izdannykh kart promyshlennosti v atlasakh regionov Rossii [Development of a Reference and Search System for Published Industrial Maps in Atlases of Russian Regions]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of XXI International Scientific Congress*. In 8 vols. Vol. 1. Iss. 2. 2025: 143–147. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2025-1-2-143-147.

**AUTHORS** **Sergey A. Krylov**

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
 Department of Cartography, Faculty of Cartography  
 PhD in Engineering  
 0000-0002-5879-6502


**Egor V. Pravsky**


 epravskiy@yandex.ru  
 Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
 Department of Cartography, Faculty of Cartography  
 0009-0004-4811-7977

Submitted: October 02, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Картографический анализ опасностей автомобильных маршрутов по набору данных об авариях на основе прецедентного подхода

С.Л. Беляков<sup>1</sup>, Л.А. Израилев<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Южный федеральный университет, Таганрог, Россия  
 izrailev@sfedu.ru

**ЦИТИРОВАНИЕ** Беляков С.Л., Израилев Л.А. Картографический анализ опасностей автомобильных маршрутов по набору данных об авариях на основе прецедентного подхода // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 140–156. DOI:10.30533/GiA-2025-061.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** геоинформационное моделирование, метод рассуждений на основе прецедентов, принятие решений в условиях неопределенности, анализ аварийных ситуаций

**АННОТАЦИЯ** Аварийные ситуации представляют собой серьезную проблему современного общества, поскольку не существует универсального решения по их устранению, применимого во всех предметных областях. В этих условиях целесообразно использовать методы, основанные на накоплении, анализе и извлечении знаний, полезных и практически применимых в подобных случаях. Сюда относится метод рассуждений на основе прецедентов (*англ.* Case-Based Reasoning, CBR). Он помогает решить новую, неизвестную задачу, применяя или адаптируя ранее использованное решение. Реализация метода CBR-анализа на базе геоинформационных систем (ГИС) позволит более эффективно накапливать информацию о прецедентах. ГИС обладает возможностью не только визуализировать сведения о прецедентах, но и определять степень близости прецедентов на основе общей топологии. Цель данной статьи заключается в разработке модели картографического анализа аварийных ситуаций на основе прецедентного подхода. Для организации поддержки принятия решения был выбран ситуационный подход. Преимуществами предложенной модели являются анализ и сравнение пространственных характеристик наряду с атрибутивными, пространственная контекстуализация, интеграция различных источников данных, а также возможность принятия решений в условиях неопределенности. Разработанная модель была использована на примере задачи выбора безопасного автомобильного маршрута. С помощью QGIS было проведено исследование территории вдоль маршрутов и определены потенциальные места аварий.

# 1 Введение

Аварийные ситуации (АС) являются одной из важных проблем современного общества. В результате неверных действий АС может привести к возникновению ущерба. Развитие методов управления способно решить эту проблему, однако принятие решений в АС остается сложной задачей. Не существует универсальных решений, применимых во всех предметных областях. Непредсказуемые и динамично развивающиеся АС создают условия для возникновения уникальных ситуаций, которые требуют принятия таких же уникальных решений.

Геоинформационные системы (ГИС) играют значимую роль в управлении АС. Пространственный анализ особенно часто применяют при изучении дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [1, 2]. Этому способствуют высокая доступность и открытость данных, а также ярко выраженные пространственные характеристики прецедентов ДТП. В то же время данный метод применяется и в других областях [3]. Пространственный анализ нередко используют совместно с другими методами (кластеризация на основе плотности [4, 5], индекс Морана [6]).

Исследователи отмечают, что ГИС «расширяют традиционные возможности визуализации пространственной информации за счет “привязки” разнообразных тематических данных» [7, с. 116]. Это позволяет добиться высокой ситуационной осведомленности благодаря интеграции и визуализации разнородных сведений о текущей ситуации. Ограничением пространственного анализа является то, что он зачастую ориентирован только на факторы, которые могут быть измерены и явно учтены, при этом не принимаются во внимание неопределенные данные о деталях АС. Это делает подход неполным и усложняет понимание реальной картины природы возникновения и протекания АС. Интеллектуализация ГИС позволяет добиться принятия достоверных решений, основанных на накопленных знаниях [8].

Можно выделить ситуационный и когнитивный подходы к организации принятия решений [9].

*Ситуационный подход* предполагает, что процесс принятия решений зависит от конкретных условий и обстоятельств, в которых находится лицо, принимающее решение. Пространственный ситуационный анализ фокусирует внимание на пространственных факторах, влияющих на ситуацию [10]. Использование ГИС с топологическими моделями позволяет упростить анализ пространственной ситуации. Однако необходимость описания всех возможных состояний объекта для принятия решения ограничивает возможности ситуационного подхода.

В *когнитивном подходе* множество процессов представляется в виде модели экспертных знаний о законах и закономерностях функционирования объекта управления. Данный подход также применяется в ГИС. В качестве примера можно привести метод морфометрического ранжирования, к которому обращаются для прогнозирования наводнений [11]. Тем не менее используемые законы и закономерности, влияющие на возникновение АС, субъективны и не всегда гарантируют достоверные результаты.

Существующие методы анализа и прогнозирования АС часто оказываются недостаточными для эффективного решения задач в условиях неопределенности. Под условиями неопределенности понимаются плохо формализуемые ситуации, описание которых либо представлено в форме субъективных оценок и гипотетических предположений с преобладанием качественной информации, либо состоит только из пространственных характеристик. Особую популярность в решении задачи прогнозирования АС приобрели нейронные сети. Например, их применяют при прогнозировании лесных пожаров [12] и ДТП [13, 14]. Тем не менее свойственное нейросетям обобщение не подходит для анализа свойств местности с точки зрения изучения контекста и деталей ситуации. Требуется подготовка размеченных наборов данных большого объема, которые достаточно быстро теряют актуальность. А в случае переобучения или низкого качества обучающих данных нейросети могут утрачивать свою эффективность и совершать ошибки при выводе решения.

В текущих условиях справиться с проблемой неопределенности можно с помощью накапливаемого опыта анализа АС, который позволяет учитывать разнообразие ситуаций и адаптироваться к новым обстоятельствам. Наиболее известным методом для работы с опытом является рассуждение на основе прецедентов (*англ.* Case-Based Reasoning, CBR). Этот метод позволяет решить новую, неизвестную задачу, применяя или адаптируя ранее использованное решение. К нему можно прибегать при анализе аварийных и чрезвычайных ситуаций в условиях неопределенности и в случаях трудноформализуемого объекта изучения [15]. Ключевыми преимуществами CBR-анализа являются его адаптируемость благодаря пополнению базы прецедентов и учет контекста ситуаций. Метод также часто используют совместно с ГИС [16, 17]. Однако в данном случае речь идет лишь о визуализации результатов.

Область применения CBR-анализа обширна. Так, в работе [18] рассматривается реализация данного метода при управлении сложным технологическим объектом городской инфраструктуры, в том числе при анализе АС. В исследовании [19] тот же подход предлагается использовать для парирования АС при проведении испытаний перспективных образцов космических средств. Таким образом, CBR-анализ может быть применен практически в любой предметной области.

Целью данной статьи является разработка модели картографического анализа АС на основе прецедентного подхода. Для того чтобы достичь поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- 1) создать модель в методологии структурного анализа и проектирования систем (*англ.* Structured Analysis and Design Technique, SADT) прецедентного анализа аварийных ситуаций в ГИС;
- 2) разработать алгоритм прецедентного анализа в ГИС;
- 3) реализовать ГИС-проект для демонстрации работы прецедентного анализа на примере задачи выбора безопасного автомобильного маршрута.

## 2 Материалы и методы

CBR-анализ позволяет извлекать знания из предыдущих случаев и применять к новым ситуациям, что особенно актуально в условиях неопределенности. Полный CBR-цикл включает 4 этапа: извлечение, повторное использование, адаптацию, сохранение нового прецедента. В данной работе применяется неполный CBR-цикл, который не содержит третьего этапа. Предполагается, что адаптация будет выполнена в ходе анализа непосредственно лицом, принимающим решение.

Для организации поддержки принятия решения используется ситуационный подход. Он основывается на системном анализе конкретной ситуации с учетом множества деталей и выработки решений на их основе. Принятие решений осуществляется за счет привлечения экспертов, их знаний, опыта и интуиции. В данной работе для принятия решений используются накопленные сведения по разбору АС экспертами.

В качестве примера АС были рассмотрены данные о ДТП, полученные на портале «Карта ДТП»<sup>1</sup>. Под ДТП понимается событие, возникшее в процессе движения по дороге транспортного средства и с его участием, при котором погибли или ранены люди, повреждены транспортные средства, сооружения, грузы, либо причинен иной материальный ущерб<sup>2</sup>. В контексте CBR-анализа ДТП являются одним из результатов прецедента. Прецедентом выступает АС, которая имела

1 Карта ДТП. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dtp-stat.ru> (дата обращения: 20.07.2025).

2 О безопасности дорожного движения: Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102038671> (дата обращения: 20.07.2025).

место в пространстве и времени. Результат данной ситуации зависит от тех действий, которые предприняли участники дорожного движения.

В работе использовалось программное обеспечение Quantum GIS (QGIS) версии 3.38 и модули расширения: QuickMapServices — для загрузки данных дистанционного зондирования (ДЗЗ), OSMDownloader — для загрузки векторных данных с сервиса OpenStreetMap<sup>3</sup>, Bulk Nominatim GeoCoding — для геокодирования данных.

### 3 Результаты и обсуждение

Определим понятия знания и опыта. Знания — это правила, законы, закономерности, полученные в результате профессиональной деятельности в пределах предметной области. Знания, приобретенные на основе наблюдений за реально наблюдаемыми явлениями, являются эмпирическими. Они формируются на основе фактов и данных, собранных в ходе практического опыта. Такой подход позволяет:

- минимизировать субъективность, т. к. наблюдения могут быть количественно измерены и задокументированы;
- создавать надежные теории обобщения, которые возможно проверить и воспроизвести;
- адаптироваться к изменениям изучаемой среды (как меняется окружающая среда, так и знания будут изменяться в соответствии с новыми фактами и явлениями).

Опыт, в свою очередь, представляет собой практическое применение знаний. Это результат взаимодействия с окружающим миром. Опыт зачастую более контекстуален и индивидуален, чем знание. Тем не менее обобщение опыта способствует формированию нового знания, основанного на достоверном выводе, поскольку выводы на основе опыта приобретают дедуктивный характер.

Таким образом, накопление знаний через эмпирические наблюдения и практический опыт становится основополагающим элементом в процессе принятия решений.

Рассмотрим поэтапно процесс прецедентного анализа с использованием ГИС.

#### Этап I. Подготовка будущей базы прецедентов

Сведения о них должны быть загружены и структурированы. При этом не вся информация полезна или потенциально применима. Недостовверные или неточные сведения о прецедентах могут привести к ошибочным решениям. Предобработка данных предполагает сокращение соответствующей информации. От того, насколько эффективно произведена данная операция, будут зависеть точность и производительность всего процесса обнаружения знания.

#### Этап II. Геокодирование прецедентов

Для возможности применения базы прецедентов в ГИС требуется привязать собранную и обработанную информацию к географическому пространству. Отсутствие географических координат или наличие ошибок в них может сделать невозможным проведение анализа. Использование геокодирования способно решить данную проблему.

#### Этап III. Сбор информации о территории анализа

Требуется найти и определить все сведения, имеющие отношение к ситуации. Они могут быть получены в реальном времени на основе средств наблюдения и фиксации (камер, датчиков) параметров окружающей среды или на основе

<sup>3</sup> OpenStreetMap. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.openstreetmap.org> (дата обращения: 20.07.2025).

интеграции с базами данных. Преимущество ГИС состоит в возможности использования не связанных между собой данных и последующего их агрегирования с опорой на общие пространственные характеристики.

**Этап IV. Прецедентный анализ**

Определяются наиболее близкие к текущей ситуации прецеденты с последующим использованием полученного решения. Результат применения решения становится частью базы прецедентов и фиксируется на карте.

**Этап V. Прогнозирование и оценка угроз**

На основе проведенного анализа формируются прогнозы о вероятности возникновения угроз и оценка возможных последствий.

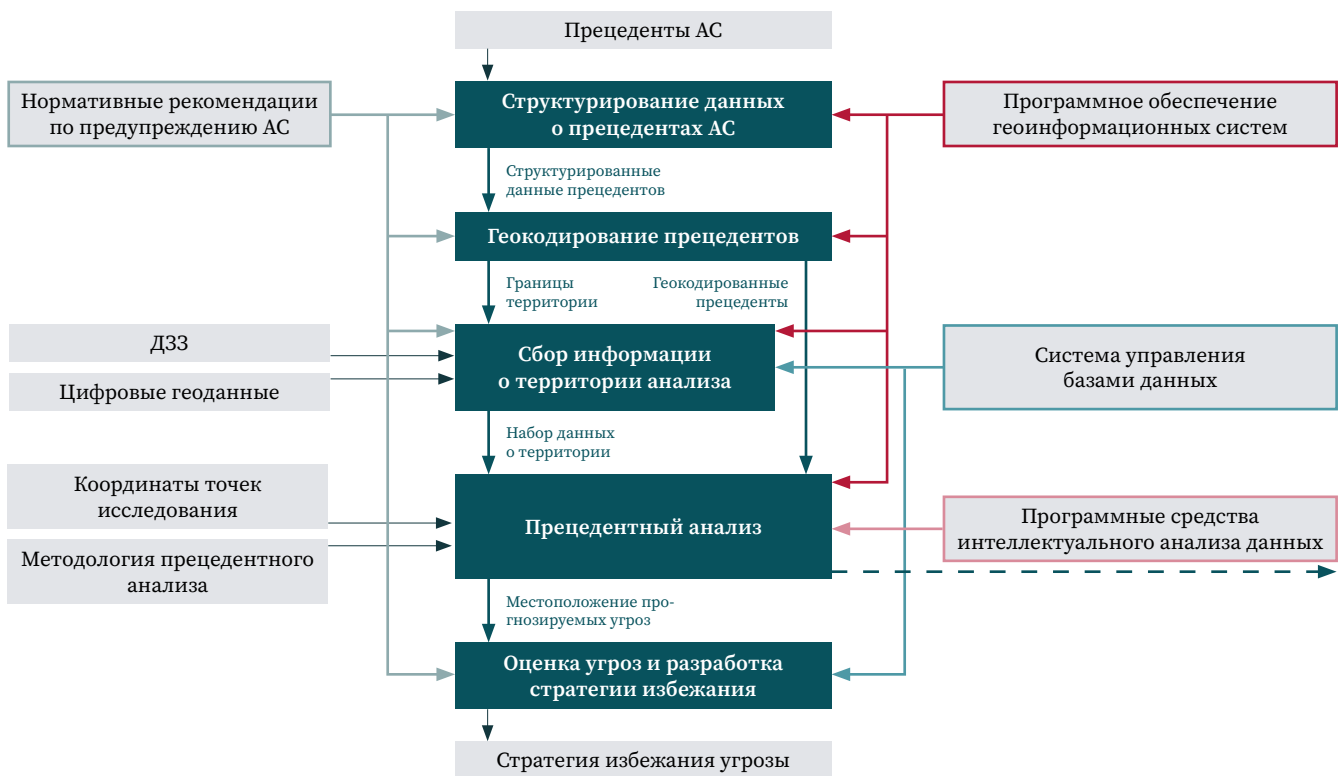
**Рис. 1** ▼

Модель прецедентного анализа аварийных ситуаций, построенная в ГИС

**Fig. 1**

Model of the precedent analysis of emergency situations in GIS

Построенная в ГИС модель прецедентного анализа аварийных ситуаций представлена на рис. 1.



Рассмотрим подробнее процесс геокодирования (рис. 2). Описание местоположения прецедента должно быть представлено в виде географических координат. В случае их отсутствия координаты могут быть определены с помощью геокодирования адреса. Однако это не всегда возможно и зависит от используемого сервиса геокодирования. Особенно это касается случаев, когда прецедент произошел за пределами населенного пункта. Подобные прецеденты стоит исключить из анализа, т. к. они снижают достоверность результатов.

Перейдем к прецедентному анализу (рис. 3). Онтологическую модель прецедента можно представить следующим образом:

1 ▶

$$CASE = (x_1, x_2, \dots, x_n, R),$$

где  $x_1, \dots, x_n$  — параметры ситуации, описывающей данный прецедент ( $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$ ), при этом  $X_1, \dots, X_n$  — области допустимых значений параметров прецедента;

$R$  — решение;

$n$  — количество параметров прецедента.

Если известно пространственное положение двух прецедентов  $i_a$  и  $i_b$ , их сходство можно оценить принятой метрикой расстояния  $d(i_a, i_b)$ . Минимальное расстояние соответствует максимальному сходству. Однако в таком случае оно должно удовлетворять допустимому расстоянию, в пределах которого можно говорить об идентичности местоположения прецедентов. Другими словами, предполагается, что разница топологии прецедентов несущественно влияет на суть прецедента и не меняет его решение.

Для проверки соблюдения данного условия введем понятие буферной зоны смысловой близости прецедентов. Буферная зона определяет пространство, в пределах которого будет осуществляться поиск прецедентов. Прецеденты за пределами буферной зоны игнорируются. Таким образом, проверку соответствия прецедента буферу можно представить в виде следующего выражения:

$$2 \quad S = \{i \in I : L(i) < B\}, S \geq 0,$$

где  $S$  — количество прецедентов, находящихся на расстоянии меньше, чем размер буфера;  
 $I$  — множество прецедентов;  
 $L(i)$  — расстояние прецедента  $i$  до текущей ситуации;  
 $B$  — буфер.

Рис. 2 Модель процесса геокодирования прецедентов

Fig. 2 Model of the geocoding use cases process



Рис. 3 Модель процесса прецедентного анализа

Fig. 3 Model of the case-based reasoning process




Из полученного набора прецедентов выполняется извлечение наиболее близкого прецедента с использованием предварительно выбранной метрики близости.

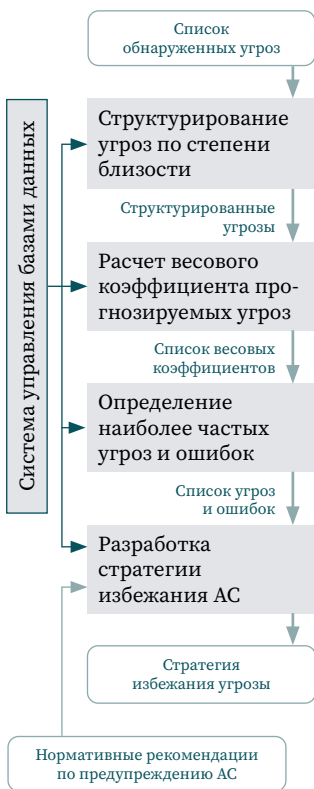
При этом возможны следующие варианты:

1. Если  $S > 1$ , то наиболее близким считается прецедент  $i \in S$ , для которого  $P(i) \cap P(j) \rightarrow \max$ , где  $P(i)$  — множество параметров ситуации прецедента  $i$ , а  $P(j)$  — множество параметров текущей ситуации.
2. Если  $S = 1$ , то наиболее близким считается прецедент  $i \in S$ , расположенный на наименьшем расстоянии от текущей ситуации.
3. Если  $S = 0$ , то прецедентов не обнаружено, а значит, угрозы нет.

При вариантах 1 и 2 выполняется адаптация прецедента к текущей ситуации. Адаптация должна осуществляться с учетом различий параметров и с применением экспертного знания предметной

**Рис. 4**  Модель процесса оценки угроз и разработки стратегии избежания АС

**Fig. 4** Model of the threat assessment and development of a strategy to avoid nuclear power plants process



области. Из полученных результатов формируется список обнаруженных в ходе анализа угроз.

После обнаружения угрозы следует принять меры по снижению рисков ее возникновения, а также оценить ее степень (рис. 4). Для этого угрозы структурируются по степени близости к текущей ситуации. Чем выше степень близости текущей ситуации к прецеденту, тем выше риски. Затем выполняется расчет весового коэффициента угроз путем умножения количества угроз на степень близости.

Для разработки стратегии необходимо определить наиболее вероятную угрозу и ошибку (причину). Определив угрозу и причину ее возникновения, можно выбрать наиболее подходящую стратегию избежания угроз, используя нормативные рекомендации в предметной области.

Для проверки данной модели рассмотрим задачу выбора безопасного маршрута. В качестве территории исследования был выбран город Таганрог. Маршрут пролегает от пересечения улицы Чехова и Смирновского переулка до пересечения улиц Щорса и Панфилова. Сервис «Яндекс.Карты» предлагает 6 маршрутов (рис. 5). Условия текущей ситуации представлены четырьмя характеристиками:

- 1) время суток — 14:00 (светлое);
- 2) погода — дождь;
- 3) состояние дороги — мокрое;
- 4) недостатки дорожной сети — отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части, неровное покрытие.


Перенесем данные по маршрутам в QGIS и загрузим сведения по прецедентам ДТП.

Процесс геокодирования данных включал следующие этапы:

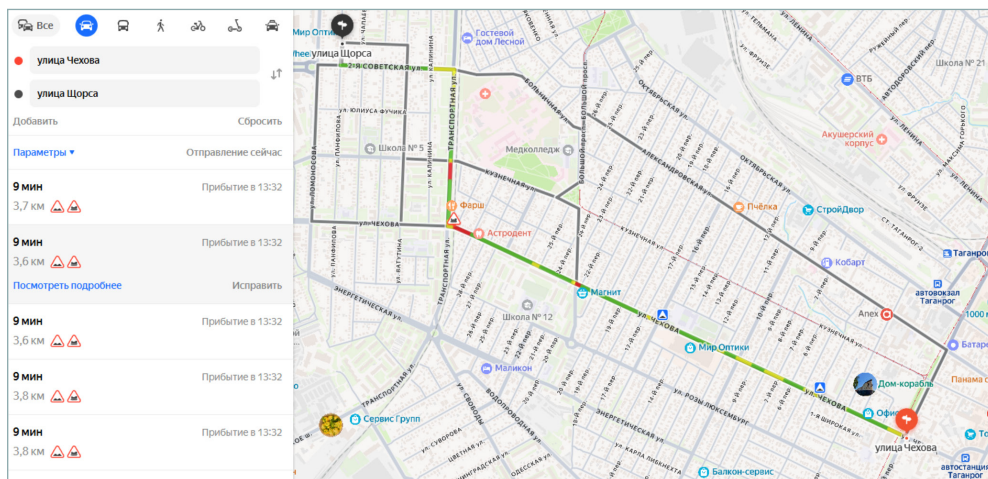
- повторное геокодирование прецедентов с неверными координатами (некоторые прецеденты содержат ошибки и опечатки в записи координат; для исправления местоположения они были повторно геокодированы с помощью Bulk Nominatim GeoCoding);
- удаление прецедентов, которые невозможно геокодировать: записей, в которых адрес указан неточно (например, указана только улица без номера дома) или в виде ориентиров (объекты рядом, определенный километр трассы и т. д.).

В результате была подготовлена база прецедентов из 646 ДТП, произошедших на территории города Таганрога. Каждая из записей представлена девятью атрибутами, которые описывают аварийную ситуацию и ее результат:

- **id** — индивидуальный идентификатор прецедента;
- **datetime** — дата / время;
- **light** — время суток;
- **weather** — погода;
- **condition** — состояние дороги;
- **disadvant** — недостатки улично-дорожной сети;
- **category** — категория / разновидность ДТП;

**Рис. 5**  Варианты автомобильных маршрутов

**Fig. 5** Options for driving routes



- severity – тяжесть;
- mistake – ошибка.

Для получения информации о местности воспользуемся спутниковыми снимками Google, а также векторными (оцифрованными) данными с картографического сервиса OpenStreetMap. С их помощью характеризуем текущую ситуацию. Такие характеристики, как время суток, погода, состояние дороги, неизменны на протяжении всего маршрута. Недостатки дорожной сети зависят от конкретного местоположения (рис. 6).

Отобразим собранные возможные маршруты на карте (рис. 7). Всего их шесть: маршрут 1 – 3,6 км; маршрут 2 – 3,8 км; маршрут 3 – 3,8 км; маршрут 4 – 3,6 км; маршрут 5 – 3,8 км; маршрут 6 – 3,7 км. Средняя протяженность маршрута составляет 3,72 км.

Определим места, где в текущей ситуации возможно возникновение аварии. С помощью инструмента «Точки вдоль геометрии» создадим точки анализа вдоль маршрутов. Частота установки – каждые 20 м. Чем выше частота, тем выше точность определения и компактность зон АС.

**Рис. 6** ➔

Информация о дорожной сети в районе автомобильных маршрутов

**Fig. 6**

Information about the road network in the area of driving routes

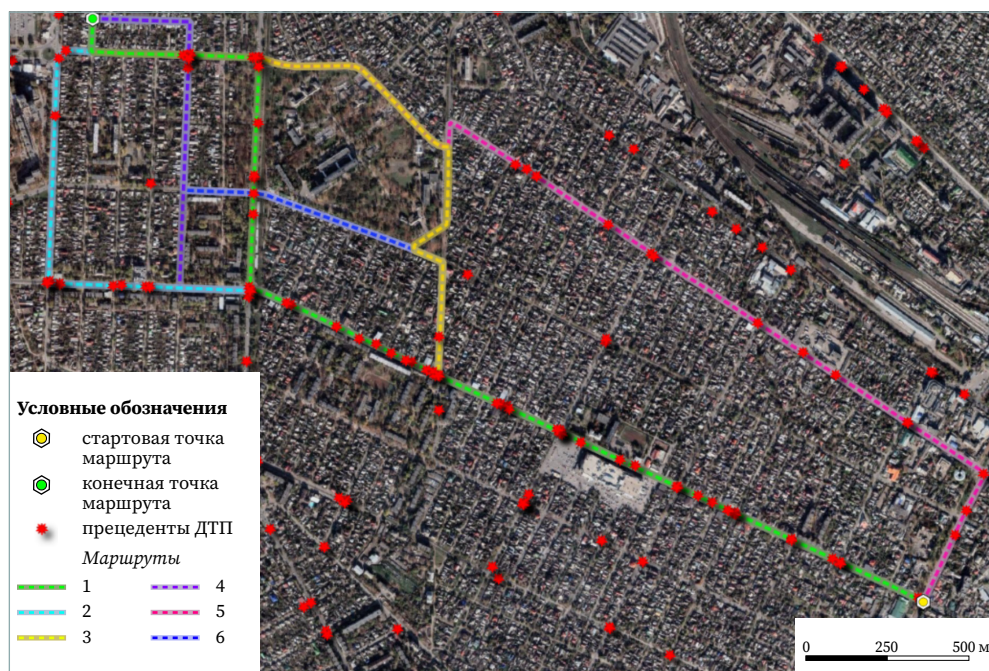


**Рис. 7** ➔

Карта исследуемых автомобильных маршрутов

**Fig. 7**

Map of the studied automobile routes



Добавим в слой с точками следующие поля:

- **Situation** — описание текущей ситуации;
- **idCase** — ID наиболее близкого по атрибутам прецедента;
- **degreeAttr** — степень близости прецедента;
- **ThreatType** — категория ДТП близкого прецедента;
- **Mistake** — ошибочные действия / нарушения участников движения в прецеденте;
- **HumFactor** — наличие / отсутствие человеческого фактора в ситуации (определяется на основе специфики действий участников движения).

Как показал анализ, наиболее приемлемыми вариантами метрик близости являются:

- для задачи оценки свойств ситуации — мера сходства по Хэммингу:

$$3 \quad S(C, T) = \frac{n_{CT}}{n},$$

где  $n_{CT}$  — число совпадающих признаков (параметров) у прецедента  $C$  и ситуации  $T$ ;

$n$  — общее количество признаков;

- для задачи оценки расстояния — Евклидова метрика:

$$4 \quad d = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_k - q_k)^2},$$

где  $d$  — расстояние между точками;

$n$  — размерность пространства;

$p, q$  — координаты двух точек в пространстве.

Данные метрики выбраны с учетом их гибкости в настройке и возможности применения для анализа транспортных происшествий. Они также не требуют использования экспертного знания.

Наиболее опасной считается АС, в которой совпадает наибольшее количество параметров. Соответственно, безопасным будет маршрут с наименьшим количеством близких по атрибутам АС.

В рамках исследования рассматривались прецеденты, расположенные не более чем в  $10 + 3$  м от точек анализа (дополнительные 3 м нужны, чтобы не оставалось слепых зон поиска). Данный подход позволяет избежать необходимости анализировать особенности топологии территории, т. к. ее можно рассматривать идентичной для текущей ситуации и прецедента.

С помощью инструмента «Буфер» и настройки стиля отображения по атрибуту для поля **degreeAttr** были визуализированы результаты прецедентного анализа (рис. 8–9).

Рассчитаем весовые коэффициенты прогнозируемых угроз АС. Для этого воспользуемся формулой

$$5 \quad W = N \times P,$$

где  $W$  — весовой коэффициент угрозы;

$N$  — количество угроз;

$P$  — степень соответствия текущей ситуации прогнозируемой угрозе в диапазоне от 0 до 1.

В результате были получены весовые коэффициенты для каждого из маршрутов (табл. 1).

Таким образом, наиболее безопасным в текущей ситуации является маршрут 5. Наиболее частая угроза — наезд на пешехода. Наиболее частая ошибка — нарушение правил проезда пешеходного перехода. Сюда могут относиться следующие действия: обгон, разворот, остановка, превышение скорости в зоне пешеходного перехода.

На рис. 10 представлено описание и местоположение угроз с наибольшей степенью близости к текущей ситуации.

**Таблица 1** ➤

Оценка безопасности автомобильных маршрутов

**Table 1**

Assessment of the safety of the automobile routes

Маршрут	Степень близости прецедента				Весовой коэффициент
	1,00	0,75	0,50	0,25	
1	1	7	11	31	19,50
2	1	5	11	19	15,00
3	1	5	7	13	11,50
4	1	7	11	13	15,00
5	1	1	11	6	8,75
6	1	5	8	11	11,50

**Примечание.** Наиболее частая угроза (степень близости прецедента  $\geq 0,50$ ) — наезд на пешехода, наиболее частая ошибка (степень близости прецедента  $\geq 0,50$ ) — нарушение правил проезда пешеходного перехода.

**Рис. 8** ➤

Потенциально аварийные участки дорожной сети вдоль маршрутов. Район торгового центра «Мармелад» в Таганроге

**Fig. 8**

Potentially emergency sections of the road network along the routes. The area of the Marmelad shopping center, Taganrog




**Рис. 9** ➤

Потенциально аварийные участки дорожной сети вдоль маршрутов. Район городской больницы в Таганроге

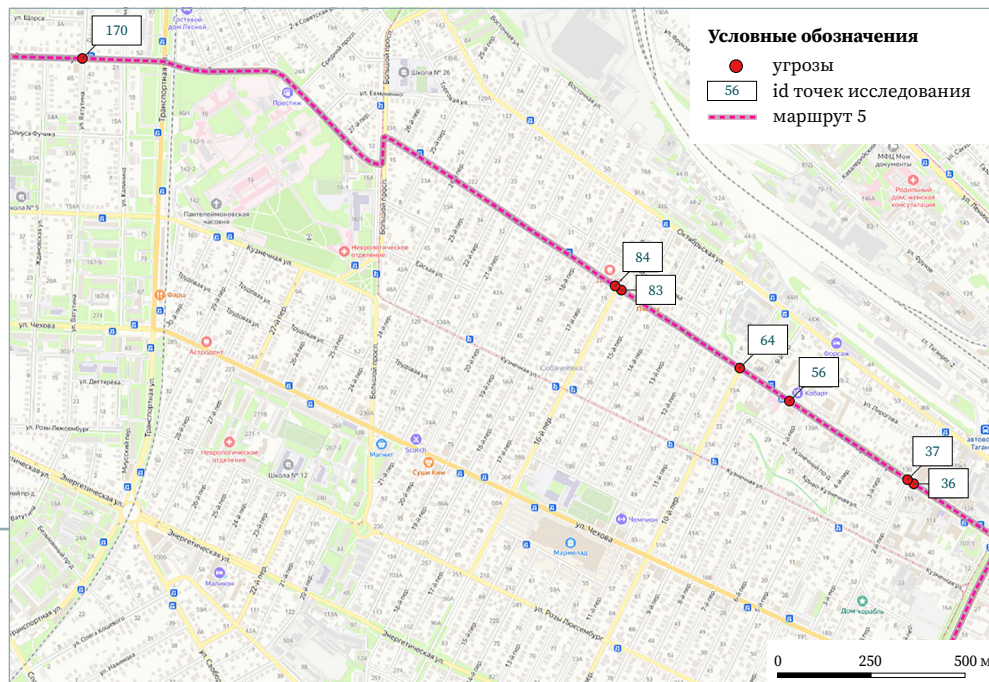
**Fig. 9**

Potentially emergency sections of the road network along the routes. City Hospital Area, Taganrog



**Рис. 10**  Аварийные участки дорожной сети вдоль маршрута 5

**Fig. 10** Emergency sections of the road network along the route 5



id	Situation	Threat	degreeAttr	ThreatType	Mistake	HumFactor
64	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	1,0000000...	Наезд на пешехода	Нарушение правил проезда пешеходного перехода	ложь
170	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,75	Столкновение	Несоблюдение требований ОСАГО, Несоблюдение очередности проезда	ложь
36	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,5	Наезд на пешехода	Нарушение правил проезда пешеходного перехода	ложь
37	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,5	Наезд на пешехода	Нарушение правил проезда пешеходного перехода	ложь
56	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,5	Столкновение	Неправильный выбор дистанции, Управление ТС в состоянии наркотического опьянения	истина
83	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,5	Столкновение	Несоблюдение очередности проезда	ложь
84	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,5	Столкновение	Несоблюдение очередности проезда	ложь

Увеличение количества анализируемых параметров для сравнения и обобщения прецедентов на основе общего местоположения будет способствовать повышению эффективности прецедентного анализа [20].

Перспективы развития прецедентного анализа в ГИС включают разработку специализированных программных средств, ориентированных на работу с пространственными характеристиками, и методик обобщения прецедентов для повышения эффективности. Это позволит создать более эффективные инструменты для поддержки принятия решений в АС и улучшить достоверность таких решений. Использование накопленного опыта не только повысит

качество принимаемых решений, но и обеспечит самообучение систем на основе новых данных.

Отдельным направлением исследования стоит рассматривать разработку алгоритмов адаптации моделей топологии прецедентов к новым условиям. Это позволит применять прецеденты к множеству ситуаций, что значительно повысит точность и достоверность анализа.

## 4 Выводы

Внедрение методов прецедентного анализа в ГИС для поддержки принятия решений в АС, таких как ДТП, имеет значительные преимущества. Эти методы способствуют накоплению опыта, позволяют принимать решения в условиях неопределенности и обеспечивают самообучение систем.

У использования ГИС для прецедентного анализа есть ряд преимуществ:

- пространственная контекстуализация (ГИС позволяет учитывать местоположение и пространственные связи между объектами);
- визуализация данных (ГИС содержит инструменты для визуализации данных, что помогает в выявлении закономерностей, которые не всегда очевидны при анализе количественных данных);
- интеграция различных источников данных (объединение данных из нескольких источников, таких как спутниковые снимки, статистические данные и т. п., способствует принятию достоверных и обоснованных решений);
- анализ временных изменений (благодаря ГИС возможно анализировать изменение характеристик объектов во времени, что может быть особенно полезно при классификации динамичных объектов);
- автоматизация процессов (ГИС позволяет автоматизировать многие процессы, включая сбор и обработку данных, что уменьшает затраты времени и ресурсов на подготовку данных для обучения).

Таким образом, интеграция СВР-методов и ГИС позволяет повысить эффективность решения задачи классификации данных.

Однако для применения рассматриваемой модели в других предметных областях и на других территориях требуется ряд условий:

- 1) определение формы прецедента и текущей ситуации (необходимо установить, какие события считать прецедентами, что рассматривать решением и параметрами ситуации);
- 2) наличие пространственных характеристик у прецедентов (если прецедент не обладает пространственными характеристиками, то применение разработанной модели нерационально);
- 3) возможность геокодирования прецедентов (не во всех предметных областях и не на каждой территории можно добиться точной геолокации прецедентов, что, например, касается прецедентов на море; поскольку эффективность анализа напрямую зависит от количества известных прецедентов на территории, невозможность геолокации приведет к значительному сокращению потенциальной базы прецедентов, а это негативно скажется на точности анализа).

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-00182, реализованного Южным федеральным университетом.


### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Беднов С.С., Богдашкина О.Ф., Калашникова Л.Г. Анализ дорожно-транспортных происшествий в городе Саранске с использованием QGIS // *Огарев-Online*. 2023. № 2(187). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ogarev-online.ru/2311-2468/article/view/267973> (дата обращения: 20.07.2025).
2. Требушкова И.Е., Маковнева А.С., Полякова Н.О. Пространственно-временной анализ дорожно-транспортных происшествий в Курской области с помощью

- ГИС-технологий // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2023. Т. 9, № 1. С. 56–73.
3. Кочергин Г.А., Муратов И.Н., Куприянов М.А. и др. Оценка и картографирование рисков воздействия аварийных нефтеразливов на лесной комплекс нефтедобывающих регионов России // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 5(90). С. 86–89. DOI:10.24412/2076-6785-2022-5-86-89.
  4. Герштейн А.М. Программные инструменты для построения безопасных маршрутов транспорта: дис. ... канд. физ.-мат. наук. СПб., 2024. 124 с.
  5. Wang D., Huang Y., Cai Z. A Two-Phase Clustering Approach for Traffic Accident Black Spots Identification: Integrated GIS-Based Processing and HDBSCAN Model // International Journal of Injury Control and Safety Promotion. 2023. Vol. 30. Iss. 2. P. 270–281. DOI:10.1080/17457300.2022.2164309.
  6. Sipos T. Spatial Statistical Analysis of the Traffic Accidents // Periodica Polytechnica Transportation Engineering. 2017. Vol. 45. No. 2. P. 101–105. DOI:10.3311/PPtr.9895.
  7. Иванова Н.В., Белов В.С., Самаркин А.И. и др. Картографический анализ экстренных вызовов на дорожно-транспортные происшествия для оптимизации работы службы скорой медицинской помощи // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2023. Т. 16, № 2. С. 114–129.
  8. Аманкулова Н.А., Молмакова М.С., Каримова Г.Т. Искусственный интеллект и геоинформационные системы // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9, № 11. С. 278–287. DOI:10.33619/2414-2948/96/36.
  9. Кулинич А.А. Ситуационный, когнитивный и семиотический подходы к принятию решений в организациях // Открытое образование. 2016. № 6. С. 9–17. DOI:10.21686/1818-4243-2016-6-9-17.
  10. Цветков В.Я., Маркелов В.М. Пространственный ситуационный анализ // Вестник МГТУ МИРЭА. 2013. № 1. С. 103–116.
  11. Мостафа Е., Синиченко Е.К., Грицук И.И. Картирование опасности внезапных наводнений с использованием метода морфометрического ранжирования // Природообустройство. 2023. № 2. С. 106–112. DOI:10.26897/1997-6011-2023-2-106-112.
  12. Гребнев Я.В., Москалев А.К., Газизулина А.Ю. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на территории Крайнего Севера Красноярского края, обусловленных лесными и ландшафтными пожарами, с использованием нейросетевых алгоритмов // Инновации. 2018. № 12(242). С. 98–102.
  13. Ogwueleka F., Misra S., Ogwueleka T.C., et al. An Artificial Neural Network Model for Road Accident Prediction: A Case Study of a Developing Country // Acta Polytechnica Hungarica. 2014. Vol. 11. No. 5. P. 177–197.
  14. Зикратова Т.В., Зикратов И.А. Применение нейронной сети для обнаружения аварийно-опасных ситуаций на дорогах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20, № 2. С. 301–305. DOI:10.17586/2226-1494-2020-20-2-301-305.
  15. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И. и др. Система поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации техногенных ЧС на основе прецедентного подхода // Технологии техносферной безопасности. 2013. № 5(51). С. 1–13.
  16. Liao Z., Zhou C., Tian W., et al. CBR-Based Integration of a Hydrodynamic and Water Quality Model and GIS – A Case Study of Chaohu City // Environmental Science and Pollution Research. 2019. Vol. 26. P. 6436–6449. DOI:10.1007/s11356-018-3862-5.
  17. Пальчевский Е.В., Антонов В.В., Родионова Л.Е. и др. Моделирование зон затопления на основе прогнозирования временных рядов и ГИС-технологий // Компьютерная оптика. 2024. Т. 48, № 6. С. 913–923. DOI:10.18287/2412-6179-CO-1418.
  18. Глухих И.Н., Глухих Д.И. Метод Case Based Reasoning при управлении сложными технологическими объектами городской инфраструктуры // Инженерный вестник Дона. 2021. № 7(79). С. 128–137.
  19. Иванов И.Г., Морозов С.В., Белокопытов М.Л. Повышение качества испытаний космических средств путем использования системы поддержки принятия решений на основе прецедентов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3(41). С. 121–130. DOI:10.21685/2307-5538-2022-3-15.

20. Беляков С.Л., Израилев Л.А. Геоинформационные модели аварийных ситуаций с пространственными обобщениями // Известия ЮФУ. Технические науки. 2025. № 1(243). С. 153–164. DOI:10.18522/2311-3103-2025-1-153-164.

**АВТОРЫ** **Беляков Станислав Леонидович**

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ЮФУ), Таганрог, Россия  
кафедра информационно-аналитических систем безопасности, Институт  
компьютерных технологий и безопасности  
д-р техн. наук, профессор  
 0000-0002-9939-8789

**Израилев Лев Алексеевич**

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ЮФУ), Таганрог, Россия  
кафедра информационно-аналитических систем безопасности, Институт  
компьютерных технологий и безопасности

Поступила 29.07.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# Cartographic Analysis of Risks Associated with Automobile Routes Based on Data on Road Accidents Using Case-Based Reasoning

Stanislav L. Belyakov<sup>1</sup>, Lev A. Izrailev<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Southern Federal University, Taganrog, Russia

✉ izrailev@sfnu.ru

**CITATION** Belyakov SL, Izrailev LA. Cartographic Analysis of Risks Associated with Automobile Routes Based on Data on Road Accidents Using Case-Based Reasoning. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 140–156. DOI:10.30533/GiA-2025-061.

**KEYWORDS** geoinformation modeling, case-based reasoning, decision-making in conditions of uncertainty, emergency analysis

**ABSTRACT** Emergency situations are a serious problem of modern society, as there are no universal solutions applicable in all subject areas. In these circumstances, it is advisable to use methods based on the accumulation, analysis and extraction of useful and practically applicable knowledge to solve emergency situations. One of these is the Case-Based Reasoning (CBR) method. It allows you to solve a new, unknown problem by applying or adapting a previously used solution. The implementation of the CBR analysis method based on geographic information systems (GIS) will allow more efficient accumulation of information about use cases. GIS has the ability not only to visualize information about use cases, but also to determine the degree of proximity of use cases based on a common topology. The purpose of this article is to develop a model for emergency cartographic analysis based on a case-based approach. A situational approach has been chosen as an approach to organizing decision support. The advantages of the proposed model are the analysis and comparison of spatial characteristics along with attributive ones, spatial contextualization, integration of various data sources, as well as the ability to make decisions in conditions of uncertainty. The developed model was used as an example of the task of choosing a safe automobile route. With the help of QGIS, a study of the territory along the routes was conducted and potential accident sites were identified.


**ACKNOWLEDGEMENTS** The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 25-21-00182, implemented by the Southern Federal University.

## REFERENCES

1. Bednov SS, Bogdashkina OF, Kalashnikova LG. Analiz dorozhno-transportnyh proisshestvij v gorode Saranske s ispol'zovaniem QGIS [Analysis of Traffic Accidents in Saransk Using QGIS]. *Ogaryov-Online*. 2023;2(187): 34–42. (In Russian). Available from: <https://ogarev-online.ru/2311-2468/article/view/267973>. (Accessed 20 July 2025).
2. Trebushkova IE, Makovneva AS, Poljakova NO. Prostranstvenno-vremennoj analiz dorozhno-transportnyh proisshestvij v Kurskoj oblasti s pomoshh'ju GIS-tehnologij [Spatial and Temporal Analysis Traffic Accidents in the Kursk Region Using GIS Technologies]. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*. 2023;9(1): 56–73. (In Russian).
3. Kochergin GA, Muratov IN, Kuprijanov MA., et al. Ocenka i kartografirovanie riskov vozdeystviya avariynyh nefterazlivov na lesnoj kompleks nefte dobyvajushhih regionov Rossii [Assessment and Mapping of the Risks of Accidental Oil Spills on the Forest Complex of the Oil-Producing Regions of Russia]. *Oil&Gas Exposition*. 2022;5(90): 86–89. (In Russian). DOI:10.24412/2076-6785-2022-5-86-89.
4. Gershtein AM. *Programmnye instrumenty dlya postroeniya bezopasnykh marshrutov transporta* [Software Tools for Building Safe Transport Routes] [dissertation]. Saint Petersburg, 2024. 124 p. (In Russian).
5. Wang D, Huang Y, Cai Z. A Two-Phase Clustering Approach for Traffic Accident Black Spots Identification: Integrated GIS-Based Processing and HDBSCAN Model. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*. 2023;30(2): 270–281. DOI:10.1080/17457300.2022.2164309.
6. Sipos T. Spatial Statistical Analysis of the Traffic Accidents. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 2017;45(2): 101–105. DOI:10.3311/PPtr.9895.
7. Ivanova NV, Belov VS, Samarkin AI, et al. Kartograficheskii analiz ekstremnykh vyzovov na dorozhno-transportnye proisshestviya dlya optimizatsii raboty sluzhby skoroi meditsinskoj pomoshchi [Cartographic Analysis of Emergency Calls for Traffic Accidents to Optimize the Work of the Ambulance Service]. *Bulletin of the Pskov State University. Series "Natural and Physical and Mathematical Sciences"*. 2023;16(2): 114–129. (In Russian).
8. Amankulova NA, Molmakova MS, Karimova GT. Iskusstvennyj intellekt i geoinformacionnye sistemy [Artificial Intelligence and Geoinformation Systems]. *Bulletin of Science and Practice*. 2023;9(11): 278–287. (In Russian). DOI:10.33619/2414-2948/96/36.
9. Kulinich AA. Situatsionnyi, kognitivnyi i semioticheskii podkhody k prinyatiyu reshenii v organizatsiyakh [Situational, Cognitive and Semiotic Approaches to Decision-Making in Organizations]. *Open Education*. 2016;6: 9–17. (In Russian). DOI:10.21686/1818-4243-2016-6-9-17.
10. Cvetkov VJa, Markelov VM. Prostranstvennyi situatsionnyi analiz [Spatial Situational Analysis]. *Bulletin of MSTU MIREA*. 2013;1: 103–116. (In Russian).
11. Mostafa E, Sinichenko EK, Gricuk II. Kartirovanie opasnosti vnezapnykh navodnenii s ispol'zovaniem metoda morfometricheskogo ranzhirovaniya [Mapping the Risk of Flash Floods Using the Morphometric Ranking Method]. *Prirodoobustrojstvo*. 2023;2: 106–112. (In Russian). DOI:10.26897/1997-6011-2023-2-106-112.
12. Grebnev JaV, Moskalev AK, Gazizulina AJu. Prognozirovaniye chrezvychainykh situatsii na territorii Krainego Severa Krasnoyarskogo kraja, obuslovlennykh lesnymi i landshaftnymi pozharami, s ispol'zovaniem neirosetevykh algoritmov [Forecasting Emergency Situations in the Far North of the Krasnoyarsk Territory Caused by Forest and Landscape Fires Using Neural Network Algorithms]. *Innovations*. 2018;12(242): 98–102. (In Russian).
13. Ogwueleka F, Misra S, Ogwueleka TC, et al. An Artificial Neural Network Model for Road Accident Prediction: A Case Study of a Developing Country. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2014;11(5): 177–197.
14. Zikratova TV, Zikratov IA. Primenenie neuronnoi seti dlya obnaruzheniya avariino-opasnykh situatsii na dorogakh [Application of a Neural Network for Detecting Emergency Situations on the Roads]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2020;20(2): 301–305. (In Russian). DOI:10.17586/2226-1494-2020-20-2-301-305.
15. Berman AF, Nikolajchuk OA, Pavlov AI, et al. Sistema podderzhki prinyatiya reshenii po preduprezhdeniyu i likvidatsii tekhnogennykh CHS na osnove pretsedentnogo

- podkhoda [Decision Support System for the Prevention and Elimination of Man-Made Emergencies Based on a Precedent Approach]. *Technosphere Security Technologies*. 2013;5(51): 1–13. (In Russian).
16. Liao Z, Zhou C, Tian W, et al. CBR-Based Integration of a Hydrodynamic and Water Quality Model and GIS – A Case Study of Chaohu City. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26: 6436–6449. DOI:10.1007/s11356-018-3862-5.
  17. Pal'chevskij EV, Antonov VV, Rodionova LE, et al. Modelirovanie zon zatopeniya na osnove prognozirovaniya vremennykh ryadov i GIS-tehnologii [Modeling of Flood Zones Based on Time Series Forecasting and GIS Technologies]. *Computer Optics*. 2024;48(6): 913–923. (In Russian). DOI:10.18287/2412-6179-CO-1418.
  18. Gluhih IN, Gluhih DI. Metod Case Based Reasoning pri upravlenii slozhnymi tekhnologicheskimi ob'ektami gorodskoi infrastruktury [The Case Based Reasoning Method for Managing Complex Technological Objects of Urban Infrastructure]. *Engineering Journal of Don*. 2021;7(79): 128–137. (In Russian).
  19. Ivanov IG, Morozov SV, Belokopytov ML. Povyshenie kachestva ispytaniy kosmicheskikh sredstv putem ispol'zovaniya sistemy podderzhki prinyatiya reshenii na osnove pretsedentov [Improving the Quality of Testing Space Assets Through the Use of a Decision Support System Based on Precedents]. *Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2022;3(41): 121–130. (In Russian). DOI:10.21685/2307-5538-2022-3-15.
  20. Beljakov SL, Izrailev LA. Geoinformatsionnye modeli avariinykh situatsii s prostranstvennymi obobshcheniyami [Geoinformation Models of Emergency Situations with Spatial Generalizations]. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2025;1(243): 153–164. (In Russian). DOI: 10.18522/2311-3103-2025-1-153-164.

**AUTHORS** **Stanislav L. Belyakov**

Southern Federal University, Taganrog, Russia  
 Department of Information Analytical Systems of Safety, Institute of Computer Technology and Information Security  
 Dr. of Sci. (Engineering), Professor  
 0000-0002-9939-8789

**Lev A. Izrailev**

Southern Federal University, Taganrog, Russia  
 Department of Information Analytical Systems of Safety, Institute of Computer Technology and Information Security

Submitted: July 29, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Элементы модели оценки качества получаемых геосенсорными сетями пространственно-временных данных об атмосферных явлениях

Ю.В. Бельшева<sup>1</sup>✉, О.Г. Гвоздев<sup>1</sup>, А.В. Матерухин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии,  
Москва, Россия

✉ [meteoinfo@list.ru](mailto:meteoinfo@list.ru)

**ЦИТИРОВАНИЕ** Бельшева Ю.В., Гвоздев О.Г., Матерухин А.В. Элементы модели оценки качества получаемых геосенсорными сетями пространственно-временных данных об атмосферных явлениях // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 157–167. DOI:10.30533/GiA-2025-027.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** пространственно-временные данные, оценка качества, атмосферное явление, геосенсорная сеть

**АННОТАЦИЯ** В статье рассматривается актуальная научно-техническая проблема разработки теоретических основ оценки качества получаемых геосенсорными сетями пространственно-временных данных об атмосферных явлениях. Показаны ограничения руководящих документов Всемирной метеорологической организации. Обоснована целесообразность использования мелкомасштабных сетей мониторинга для фиксации локальных метеорологических процессов, находящихся ниже предела разрешающей способности государственных систем наблюдения. Авторами сформулирована необходимость создания модели, применимой для внутренней (осуществляемой поставщиком данных) и внешней (осуществляемой потребителем данных) оценки качества в различных сценариях: на этапах разработки технологий, выбора поставщика, регулярного входного и выходного контроля. Предложена для последующего построения модели оценки качества данных от геосенсорных сетей совокупность из 26 элементов, учитывающих аспекты, обеспечиваемые как отдельным геосенсором и процессами измерений и обработки данных, реализованных внутри него, так и эмерджентными свойствами геосенсорной сети. Представленный подход учитывает не только инструментальную точность отдельных сенсоров, но и системные характеристики сети, включая пространственную однородность, временную регулярность и оперативность передачи данных. Сформулированы дальнейшие направления исследований и разработок в этом направлении.

## 1 Введение

Общепринятый подход к сбору данных о состоянии атмосферы основан на интеграции данных из трех типов источников: сети наземных метеорологических станций, метеорологических спутников и метеорологических радаров. Этот подход хорошо изучен, стандартизирован, отлажен и, как следствие, успешно обеспечивает покрытие обширных территорий. Однако его принципиальным непреодолимым ограничением является невозможность гарантировать такую плотность измерений в пространстве и времени, которая достаточна для мониторинга локальных атмосферных явлений и процессов с масштабом в диапазоне от десятков и сотен метров до нескольких километров, т. к. эти величины находятся ниже нижней границы разрешающей способности всех перечисленных методов.

В то же время без учета локальных отклонений невозможно совершенствование информационно-метеорологического сопровождения тех зависимых от метеорологических условий сфер и предприятий, которые составляют значительную часть хозяйственной деятельности человека (эксплуатация автомобильных и железнодорожных путей сообщения, авиация, тепло- и электроэнергетика, сельское хозяйство, городское управление и др.).

Преодоление этих ограничений возможно путем сгущения наземной наблюдательной сети. Это позволяют реализовать современные технологии сбора данных на основе сетей геосенсоров [1] — автономных устройств, оптимизированных по стоимости изготовления и эксплуатации для массовой установки, способных к измерению параметров окружения, определению собственного местоположения и передаче полученных данных в систему, осуществляющую их обработку, в режиме, близком к реальному времени.

В результате экспериментов с применением этого класса технологий для задач метеорологического мониторинга обнаружился ряд проблем, которые были отмечены в отчете<sup>1</sup> Всемирной метеорологической организации (ВМО):

- большой объем данных — отсутствие единых доступных рекомендаций или процедур по интерпретации и дальнейшей обработке данных;
- непрозрачность — отсутствие сведений о процедурах выполнения геосенсором измерений и первичной обработки данных, отсутствие их унификации, отсутствие сведений о причинах несоответствия данных другим источникам;
- отсутствие сведений о неопределенности выполняемых геосенсорами измерений.

Кроме того, некоторые авторы [1, 2] отмечают проблемы, связанные с консистентностью выполняемых измерений и высокой чувствительностью результата к вариациям измерительных процессов, в частности высоты установки датчиков.

Таким образом, создание систем, основанных на сетях геосенсоров, требует разработки модели оценки качества, позволяющей оценить пространственно-временные данные, собираемые отдельными геосенсорами и их сетями.

## 2 Материалы и методы

Под моделью оценки качества данных в рамках этой работы понимается совокупность элементов — количественных и качественных характеристик данных, способов их оценки, их соотношений и способа получения интегральной количественной оценки качества данных. Соответственно, качество

<sup>1</sup> GAW Report No. 293. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/763892290/GAW-293-report-en> (дата обращения: 17.10.2024).

данных — степень соответствия совокупности собственных характеристик заявленным требованиям<sup>2</sup>.

Требуемая модель должна быть применима по меньшей мере в четырех сценариях [3].

**А. Для внутренней оценки качества, выполняемой поставщиком данных:**

- 1) целевая модель оценки качества, ориентированная на проектирование процессов сбора и обработки данных и осуществляющих их устройств;
- 2) модель оценки качества для регулярного выходного контроля качества данных.

**Б. Для внешней оценки качества, выполняемой потребителем данных:**

- 1) целевая модель оценки качества, ориентированная на выбор поставщика данных;
- 2) модель оценки качества для регулярного входного контроля качества данных.

**Модель также должна учитывать следующие аспекты:**

- 1) специфику потоков пространственно-временных данных:
  - временных рядов данных;
  - пространственных данных;
  - потоковых данных;
- 2) специфику данных о состоянии атмосферы.

Текущие руководящие принципы ВМО по контролю качества данных о пространственных явлениях в атмосфере<sup>3</sup> не удовлетворяют поставленным требованиям, т. к. не учитывают современное состояние технологий построения геосенсоров и геосенсорных сетей, а также сфокусированы на процессах поставщиков данных, не уделяя достаточно внимания запросам потребителя данных [4]; поставщики данных оценивают качество продукта через его соответствие требованиям, в то время как для потребителей важна его применимость и полезность для решения поставленной задачи [5], а, согласно статье [6], ВМО вообще не определяет конкретную процедуру по оценке параметров качества пространственно-временных данных.

Целью данной работы является идентификация элементов для построения модели оценки качества (элементы качества), отвечающей описанным требованиям. Такие элементы могут быть как универсальными, значимыми и применимыми для всех целевых сценариев, так и ограниченно используемыми — отдельными сторонами (поставщиком или потребителем) либо в рамках отдельных целевых сценариев.

## 3 Результаты и обсуждение

### 3.1 Элементы качества данных

Для любых процессов сбора и обработки данных характерна необходимость обеспечения синтаксической корректности данных и сопутствующих процессов их формирования и обработки: выбора, корректного и систематического использования форматов представления данных, обеспечения их целостности при хранении и передаче, гарантирования уникальной идентификации и т. д.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 57773-2017 (ИСО 19157:2013). Пространственные данные. Качество данных. М.: Стандартинформ, 2017. 138 с.

<sup>3</sup> Zahumensky I. Guidelines on Quality Control Procedures for Data from Automatic Weather Stations. Geneva: World Meteorological Organization, 2004. 10 p.

На сегодняшний день теоретическая и технологическая проработка этих вопросов, выполненная исследователями в области информатики и геоинформатики, находится на высоком уровне. В рамках данной статьи элементы качества, связанные с этими аспектами, рассматриваться не будут.

В качестве основополагающих элементов качества предлагается использовать признаки, сформулированные в рамках концепции открытых данных<sup>4,5</sup>:

(Q1) *Первичность* — степень близости детализации данных к первоисточнику, отсутствие агрегации или модификации.

(Q2) *Машиночитаемость* — степень пригодности для автоматической обработки с использованием общедоступных программных средств.

### 3.2 Элементы качества данных первичных измерений состояния атмосферы

Элементы качества данных первичных измерений, обеспечиваемые отдельными геосенсорами или датчиками в их составе, в рамках данной работы рассматриваются с позиции информационных систем, осуществляющих их сбор, обработку и формирование информационных продуктов на их основе. С этой точки зрения можно выделить устоявшийся перечень элементов качества<sup>6,7,8</sup> [7–11], который был переосмыслен и дополнен авторами для достижения цели данного исследования:

(Q3) *Точность* — степень, в которой оценочное значение приближается к истинному.

(Q4) *Точность пространственно-временной координации* — степень близости координат в пространстве и времени к истинным значениям в момент измерения<sup>9</sup>.

(Q5) *Сходимость* — степень близости результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях.

(Q6) *Воспроизводимость* — степень близости результатов измерений, выполняемых в различных условиях: в различное время, в различных местах, разными методами и средствами.

(Q7) *Согласованность* — степень сопоставимости результатов измерений одного параметра в различные моменты времени и различных параметров в один момент времени [9–11].

(Q8) *Полнота* — степень наличия необходимых измерений (покрытие целевого объема).

(Q9) *Полнота в предметной области*<sup>10</sup> — степень покрытия измерениями показателей, присущих исследуемому процессу или явлению [12, 13].

4 Открытые данные // Правительство России: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://government.ru/open\\_data/](http://government.ru/open_data/) (дата обращения: 02.11.2024).

5 Open Government Data Principles. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://public.resource.org/8\\_principles.html](https://public.resource.org/8_principles.html) (дата обращения: 05.11.2024).

6 ГОСТ Р 57773-2017 (ИСО 19157:2013). Пространственные данные. Качество данных. М.: Стандартинформ, 2017. 138 с.

7 ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. М.: Стандартинформ, 2009. 32 с.

8 ГОСТ Р ИСО 22514-7-2024. Статистические методы. Управление процессами. Часть 7. Воспроизводимость процессов измерений. М.: Российский институт стандартизации, 2024. 50 с.

9 Fekpe E.S., Windholz T., Beard K., et al. Quality and Accuracy of Positional Data in Transportation // National Cooperative Highway Research Program. Report 506. Washington: Transportation Research Board, 1998. 108 p.

10 Под предметной областью может пониматься предметная область поставщика данных или потребителя данных. В первом случае предполагается покрытие множества параметров, принципиально доступных для измерения, во втором — множества параметров, необходимых для решения поставленной задачи.

(Q10) *Полнота в рамках одного временного ряда* (формируемого одним геосенсором) — доля фактически выполненных измерений от целевого количества измерений<sup>11,12,13</sup>.

(Q11) *Полнота между временными рядами* (формируемыми различными геосенсорами) — доля показателей, измерения которых могут выполняться данным геосенсором, от общего множества показателей, измеряемых геосенсорной сетью.

(Q12) *Избыточность* — степень наличия избыточных измерений — измерений сверх необходимого минимума, позволяющих за счет дальнейшей обработки повысить качество получаемого результата.

(Q13) *Наличие сведений о неопределенности измерений* — наличие в наборе данных каждого измерения сведений о количественной оценке неопределенности каждой из измеренных величин.

Важно отметить, что при решении задачи гео моделирования измерения в составе потоков пространственно-временных данных не должны рассматриваться как статистически независимые<sup>14</sup> [14].

### 3.3 Элементы качества потоков пространственно-временных данных

Элементы качества потоков пространственно-временных данных включают в себя показатели, обеспечиваемые главным образом эмерджентными свойствами геосенсорной сети.

Авторами предлагается следующий перечень элементов качества [15, 16]:

(Q14) *Частота измерений* — количество измерений, выполняемых одним геосенсором за единицу времени.

(Q15) *Однородность частоты измерений* — отклонение частоты измерения одного геосенсора от целевой.

(Q16) *Пространственно-временная плотность измерений* — количество измерений, выполняемых всей геосенсорной сетью в заданной области пространства за единицу времени.

(Q17) *Пространственная однородность измерений* — отклонение количества измерений в единицу времени в различных областях пространства в рамках покрытия геосенсорной сети.

(Q18) *Временная однородность измерений* — отклонение количества измерений в одной области пространства в рамках покрытия геосенсорной сети за различные интервалы времени.

(Q19) *Временная регулярность измерений* — степень соответствия моментов времени выполнения измерений целевой временной сетке.

(Q20) *Пространственная полнота измерений* — степень покрытия измерениями целевой области пространства.

(Q21) *Временная полнота измерений* — степень покрытия измерениями целевого интервала времени.

11 Codd E.F. Relational Database: A Practical Foundation for Productivity // Communications of the ACM. 1982. Vol. 25. No. 2. P. 109–117.

12 Motro A. Integrity = Validity + Completeness // ACM Transactions on Database Systems. 1989. Vol. 14. No. 4. P. 480–502.

13 Motro A., Rakov I. Not All Answers Are Equally Good: Estimating the Quality of Database Answers // Flexible Query Answering Systems / ed. by T. Andreasen, H. Christiansen, H.L. Larsen. New York: Springer, 1997. P. 1–21.

14 Tobler W.R. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region // Economic Geography. 1970. Vol. 46. P. 234–240.

(Q22) *Своевременность* — отношение актуальности к интервалу времени, в течение которого данные остаются актуальными<sup>15</sup>.

(Q23) *Оперативность* — задержка между моментом выполнения измерения и моментом, когда данные измерений становятся доступными для пользователя [17].

### 3.4 Потребительские элементы качества

В зависимости от уровня технической и предметной квалификации, технической обеспеченности, сложности выполняемых процессов и уровня рисков в них потенциальные потребители могут выдвинуть дополнительные требования к качеству данных геосенсорных сетей и сервисов на их основе.

(Q24) *Техническая доступность* — доля времени (как правило, за год), в течение которого должна быть обеспечена работоспособность сервиса<sup>16</sup>.

(Q25) *Организационно-техническая доступность* — количество ресурсов со стороны потребителя данных на выполнение организационных и технических мероприятий, необходимое для обеспечения доступа к данным<sup>17</sup>.

(Q26) *Ограниченность использования данных* — совокупность обстоятельств организационной, правовой или технической природы, накладывающих ограничения на возможные сценарии использования, обработки, публикации данных, формирования производных продуктов и других потенциально возможных действий на их основе или с их использованием.

Кроме перечисленного для потребителя могут быть важны аспекты, связанные с происхождением данных, репутацией их поставщика, опытом эксплуатации сервисов другими потребителями и многое другое. Однако данные аспекты не входят в научно-технический контекст рассматриваемой проблемы, хотя и должны учитываться при практическом внедрении решений на основе геосенсорных сетей.

Важно отметить, что, несмотря на стремление обеспечить высокое качество данных, нельзя пренебрегать возможностью задействовать и те данные, которые не отвечают высоким современным стандартам качества. Так, без их задействования были бы чрезвычайно ограничены возможности долгосрочных климатических исследований [18].

Таким образом, помимо средств оценки и обеспечения качества вновь собираемых данных следует развивать теоретический и технологический аппарат, позволяющий интегрировать измерения самого разного уровня.

## 4 Выводы

В работе предложена совокупность элементов для последующего построения модели оценки качества данных от геосенсорных сетей, при этом указанные элементы учитывают аспекты, которые обеспечиваются как отдельным геосенсором и процессами измерений и обработки данных, реализованных внутри него, так и эмерджентными свойствами геосенсорной сети. Дальнейшие работы авторов будут посвящены формированию целостной модели оценки качества данных от геосенсорных сетей, для чего необходима систематизация

15 Ballou D., Wang R.Y., Pazer H., et al. Modeling Information Manufacturing Systems to Determine Information Product Quality // Management Science. 1998. Vol. 44. No. 4. P. 462–484.

16 Weygant P.S. Clusters for High Availability: A Primer of HP Solutions. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001. 296 p.

17 Wang R.Y., Strong D.M. Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers // Journal of Management Information Systems. 1996. Vol. 12. No. 4. P. 5–33.


и формализация способов количественной оценки предложенных элементов качества и процедуры интегральной оценки качества данных на основе этих показателей.

**БЛАГОДАРНОСТИ** Результаты получены в рамках государственного задания № FSFE-2022-0002 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.



- БИБЛИОГРАФИЯ**
1. Kim G.-H., Lee D.-G., Shin S.-S., et al. Effects of Urban Green Using the Integrated Meteorological Sensors // Proceedings of the Spring Meeting of Korean Meteorological Society. Jeju, 2014. P. 120–121.
  2. Winning Jr.T.E., Illston B.G., Ferris M.M., et al. An Overview of the Oklahoma City Urban Micronet Test Facility // Proceedings of the American Meteorological Society 14th Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation, January 14–18, 2007. San Antonio, 2007. P. 1–5.
  3. Devillers R., Jeansoulin R. Spatial Data Quality: Concepts // Fundamentals of Spatial Data Quality / ed. by R. Devillers, R. Jeansoulin. Newport Beach: Wiley-ISTE, 2006. P. 31–42. DOI:10.1002/9780470612156.ch2.
  4. Boin A.T., Hunter G.J. Do Spatial Data Consumers Really Understand Data Quality Information? // Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences. Lisbon, 2006. P. 215–224.
  5. Devillers R., Gervais M., Bedard Y., et al. Spatial Data Quality: From Metadata to Quality Indicators and Contextual End-User Manual // Proceedings of the OEEPE/ISPRS Joint Workshop on Spatial Data Quality Management, March 21–22, 2002. Istanbul, 2002. P. 45–55.
  6. Alerskans E., Lussana C., Nipen T., et al. Optimizing Spatial Quality Control for a Dense Network of Meteorological Stations // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2022. Vol. 39. Iss. 7. P. 973–984. DOI:10.1175/JTECH-D-21-0184.1.
  7. Sicari S., Rizzardi A., Cappiello C., et al. Toward Data Governance in the Internet of Things // New Advances in the Internet of Things. Studies in Computational Intelligence. 2018. Vol. 715. P. 59–74. DOI:10.1007/978-3-319-58190-3\_4.
  8. Kemper D., Iggena T., Toenjes R., et al. Valid.IoT: A Framework for Sensor Data Quality Analysis and Interpolation // Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference (MMSys'18). New York: Association for Computing Machinery, 2018. P. 294–303. DOI:10.1145/3204949.3204972.
  9. Buelvas J.H., Múnera D., Gaviria N. DQ-MAN: A Tool for Multidimensional Data Quality Analysis in IoT-Based Air Quality Monitoring Systems // Internet of Things. 2023. Vol. 22. P. 100769. DOI:10.1016/j.iot.2023.100769.
  10. Buelvas J., Múnera D., Tobón V. Data Quality in IoT-Based Air Quality Monitoring Systems: A Systematic Mapping Study // Water, Air, & Soil Pollution. 2023. Vol. 234. No. 4. P. 248. DOI:10.1007/s11270-023-06127-9.
  11. Meritxell G., Sierra B., Ferreira S. On the Evaluation, Management and Improvement of Data Quality in Streaming Time Series // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 81458–81475. DOI:10.1109/access.2022.3195338.
  12. Herfort B., Lautenbach S., Porto de Albuquerque J., et al. A Spatio-Temporal Analysis Investigating Completeness and Inequalities of Global Urban Building Data in OpenStreetMap // Nature Communications. 2023. Vol. 14. P. 3985. DOI:10.1038/s41467-023-39698-6.
  13. Weiß I., Vogel-Heuser B. A Metric and Visualization of Completeness in Multi-Dimensional Data Sets of Sensor and Actuator Data Applied to a Condition Monitoring Use Case // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. Iss. 11. P. 5022. DOI:10.3390/app11115022.
  14. Груздев А.Н. Учет автокорреляции в задаче линейной регрессии на примере анализа общего содержания NO<sub>2</sub> в атмосфере // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55, № 1. С. 73–82. DOI:10.31857/S0002-351555173-82.
  15. Бельшева Ю.В., Матерухин А.В. Проблема оценки качества пространственно-временных данных, получаемых от системы метеорологических наблюдений // Приложение к журналу Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». Сборник статей по итогам научно-технической конференции. 2020. № 11. С. 149–151.

16. Курлов А.В., Матерухин А.В. Анализ требований к качеству пространственно-временных данных в задачах территориального планирования // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2022. Т. 66, № 4. С. 59–68. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-4-59-68.
17. Lehner W., Klein A. How to Optimize the Quality of Sensor Data Streams // Fourth International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology. Cannes/La Bocca: IEEE, 2009. P. 13–19. DOI:10.1109/ICCGI.2009.10.
18. Petrovic P. Selection of Data Sets by Quality and Its Role in Climate Research // Detecting and Modelling Regional Climate Change / M. Brunet, D. Lopez Bonillo (eds.). Berlin: Springer, 2001. P. 21–29. DOI:10.1007/978-3-662-04313-4\_3.


**АВТОРЫ** **Бельшева Юлия Владимировна**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра информационно-измерительных систем, факультет геоинформатики  
и информационной безопасности  
 0009-0002-5785-3904

**Гвоздев Олег Геннадьевич**

 gvozdev@miigaik.ru  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра информационно-измерительных систем, факультет геоинформатики  
и информационной безопасности  
канд. техн. наук  
 0000-0002-1917-3206

**Матерухин Андрей Викторович**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК), Москва, Россия  
кафедра информационно-измерительных систем, факультет геоинформатики  
и информационной безопасности  
д-р техн. наук  
 0000-0002-9576-9925

Поступила 13.01.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# Elements of a Quality Assessment Model for Spatial and Temporal Data on Atmospheric Phenomena Obtained via Geosensor Networks

Yulia V. Belysheva<sup>1</sup>✉, Oleg G. Gvozdev<sup>1</sup>, Andrey V. Materukhin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
✉ meteoinfo@list.ru

**CITATION** Belysheva YuV, Gvozdev OG, Materukhin AV. Elements of a Quality Assessment Model for Spatial and Temporal Data on Atmospheric Phenomena Obtained via Geosensor Networks. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 157–167. DOI:10.30533/GiA-2025-027.

**KEYWORDS** spatio-temporal data, quality assessment, atmospheric phenomena, geosensor network

**ABSTRACT** The paper addresses the relevant scientific and technical problem of developing theoretical foundations for the quality assessment of spatio-temporal data on atmospheric phenomena obtained via geosensor networks. The limitations of current World Meteorological Organization guidelines are demonstrated. The study substantiates the necessity of employing small-scale monitoring networks to capture local meteorological processes that fall below the resolution limits of national observation systems. The authors formulate the requirement for a model applicable to both internal (provider-side) and external (consumer-side) quality assessment across various scenarios: technology design, supplier selection, and regular input/output control. A framework consisting of 26 elements is proposed for the subsequent construction of a data quality assessment model. These elements incorporate both the aspects provided by individual geosensors and their internal measurement and processing functions, as well as the emergent properties of the entire geosensor network. The proposed approach accounts for both the instrumental accuracy of individual sensors and systemic network characteristics, including spatial uniformity, temporal regularity, and data timeliness. Finally, future research and development directions in this field are outlined.


**ACKNOWLEDGEMENTS** The results were obtained within the framework of the state assignment No. FSFE-2022-0002 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

- REFERENCES**
1. Kim GH, Lee DG, Shin SS, et al. Effects of Urban Green Using the Integrated Meteorological Sensors. *Proceedings of the Spring Meeting of Korean Meteorological Society*. Jeju; 2014: 120–121.
  2. Winning JrTE., Illston BG, Ferris MM, et al. An Overview of the Oklahoma City Urban Micronet Test Facility. *Proceedings of the American Meteorological Society 14th Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation, January 14–18, 2007*. San Antonio; 2007: 1–5.
  3. Devillers R, Jeansoulin R. Spatial Data Quality: Concepts. *Fundamentals of Spatial Data Quality*. R. Devillers, R. Jeansoulin (ed.). Newport Beach: Wiley-ISTE; 2006: 31–42. DOI:10.1002/9780470612156.ch2.
  4. Boin AT, Hunter GJ. Do Spatial Data Consumers Really Understand Data Quality Information? *Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*. Lisbon; 2006: 215–224.
  5. Devillers R, Gervais M, Bedard Y, et al. Spatial Data Quality: From Metadata to Quality Indicators and Contextual End-User Manual. *Proceedings of the OEEPE/ISPRS Joint Workshop on Spatial Data Quality Management, March 21–22, 2002*. Istanbul; 2002: 45–55.
  6. Alerskans E, Lussana C, Nipen T, et al. Optimizing Spatial Quality Control for a Dense Network of Meteorological Stations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2022;39(7): 973–984. DOI:10.1175/JTECH-D-21-0184.1.
  7. Sicari S, Rizzardi A, Cappiello C, et al. Toward Data Governance in the Internet of Things. *New Advances in the Internet of Things. Studies in Computational Intelligence*. 2018;715: 59–74. DOI:10.1007/978-3-319-58190-3\_4.
  8. Kemper D, Iggena T, Toenjes R, et al. Valid.IoT: A Framework for Sensor Data Quality Analysis and Interpolation. *Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference (MMSys'18)*. New York: Association for Computing Machinery; 2018: 294–303. DOI:10.1145/3204949.3204972.
  9. Buelvas JH, Múnera D, Gaviria N. DQ-MAN: A Tool for Multidimensional Data Quality Analysis in IoT-Based Air Quality Monitoring Systems. *Internet of Things*. 2023;22: 100769. DOI:10.1016/j.iot.2023.100769.
  10. Buelvas J, Múnera D, Tobón V. Data Quality in IoT-Based Air Quality Monitoring Systems: A Systematic Mapping Study. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2023;234: 248. DOI:10.1007/s11270-023-06127-9.
  11. Meritzell G, Sierra B, Ferreira S. On the Evaluation, Management and Improvement of Data Quality in Streaming Time Series. *IEEE Access*. 2022;10: 81458–81475. DOI:10.1109/access.2022.3195338.
  12. Herfort B, Lautenbach S, Porto de Albuquerque J, et al. A Spatio-Temporal Analysis Investigating Completeness and Inequalities of Global Urban Building Data in OpenStreetMap. *Nature Communications*. 2023;14: 3985. DOI:10.1038/s41467-023-39698-6.
  13. Weiß I, Vogel-Heuser B. A Metric and Visualization of Completeness in Multi-Dimensional Data Sets of Sensor and Actuator Data Applied to a Condition Monitoring Use Case. *Applied Sciences*. 2021;11(11): 5022. DOI:10.3390/app11115022.
  14. Gruzdev AN. Uchet avtokorrelyatsii v zadache lineinoi regressii na primere analiza obshchego sodержaniya NO<sub>2</sub> v atmosfere [Accounting for Autocorrelation in the Linear Regression Problem on the Example of Analyzing the Total NO<sub>2</sub> Content in the Atmosphere]. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019;55(1): 73–82. (In Russian). DOI:10.31857/S0002-351555173-82.
  15. Belysheva JuV, Materuhin AV. Problema otsenki kachestva prostranstvenno-vremennykh dannykh, poluchaemykh ot sistemy meteorologicheskikh nablyudenii [The Problem of Assessing the Quality of Spatio-Temporal Data from a Meteorological Observing System]. *Prilozhenie k zhurnalu Izvestiya vuzov. Geodezija i ajerofotosemka. Sbornik statej po itogam nauchno-tehnicheskoi konferencii*. 2020;11: 149–151. (In Russian).
  16. Kurlov AV, Materuhin AV. Analiz trebovaniy k kachestvu prostranstvenno-vremennykh dannykh v zadachakh territorial'nogo planirovaniya [Analysis of Spatial and Temporal Data Quality Requirements in Spatial Planning Tasks]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2022;66(4): 59–68. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-4-59-68.


17. Lehner W, Klein A. How to Optimize the Quality of Sensor Data Streams. *Fourth International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology*. Cannes/La Bocca: IEEE; 2009: 13–19. DOI:10.1109/ICCGI.2009.10.
18. Petrovic P. Selection of Data Sets by Quality and Its Role in Climate Research. *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Brunet M, Lopez Bonillo D (eds.). Berlin: Springer; 2001: 21–29. DOI:10.1007/978-3-662-04313-4\_3.

**AUTHORS** **Yulia V. Belysheva**


Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
Department of Information and Measurement Systems, Faculty of Geoinformatics  
and Information Security

 0009-0002-5785-3904

**Oleg G. Gvozdev**


 gvozdev@miigaik.ru

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
Department of Information and Measurement Systems, Faculty of Geoinformatics  
and Information Security  
PhD in Engineering

 0000-0002-1917-3206

**Andrey V. Materukhin**

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
Department of Information and Measurement Systems, Faculty of Geoinformatics  
and Information Security  
Dr. of Sci. (Engineering)

 0000-0002-9576-9925

**Submitted: January 13, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.**



# Оценка негативного воздействия на земли городских рекреационных территорий (на примере парка культуры и отдыха города Уральска)

**Ж.Б. Тасанова<sup>1,2</sup>✉, А.П. Сизов<sup>2</sup>, Ж.Г. Джигильдиева<sup>1</sup>,  
Н.Х. Утегалиева<sup>1</sup>, М.Г. Мухитов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан

<sup>2</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

<sup>3</sup> Отдел земельных отношений города Уральска, Уральск, Казахстан

✉ [tasanova\\_84@list.ru](mailto:tasanova_84@list.ru)

**ЦИТИРОВАНИЕ** Тасанова Ж.Б., Сизов А.П., Джигильдиева Ж.Г., Утегалиева Н.Х., Мухитов М.Г. Оценка негативного воздействия на земли городских рекреационных территорий (на примере парка культуры и отдыха города Уральска) // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 168–178. DOI:10.30533/GiA-2025-062.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** антропогенное воздействие, городская рекреационная территория, мониторинг земель, урбанизация, экологическая оценка

**АННОТАЦИЯ** Анализируется состояние земель ценного природно-культурного объекта и одного из старейших регулярных парков Казахстана — парка культуры и отдыха города Уральска. Основная цель статьи состоит в оценке влияния антропогенных факторов на экосистему парка. В качестве методологической базы была использована разработанная В.М. Окмянской система мониторинга городских территорий, позволяющая провести комплексную оценку степени нарушенности природной среды. Результаты анализа показали, что из-за интенсивной человеческой деятельности экосистема парка подверглась значительными изменениям. Были зафиксированы загрязнение почвы, воды и атмосферного воздуха, а также сокращение биологического разнообразия флоры и фауны. Расчеты свидетельствуют о высоком уровне нарушенности экосистемы (коэффициент составляет 0,76), что указывает на серьезную деградацию природных компонентов и снижение их способности к самовосстановлению. Главная причина наблюдаемого явления — загрязнение окружающей среды. На основе полученных данных предложены меры по восстановлению нарушенных территорий, усилению контроля за соблюдением природоохранных требований и развитию системы экологического образования населения. Итоги исследования подтверждают необходимость комплексного и устойчивого подхода к управлению городскими земельными зонами в условиях растущей урбанизации.

## 1 Введение

Согласно Экологическому кодексу Республики Казахстан<sup>1</sup>, к основным задачам экологического законодательства относится обеспечение эффективной охраны окружающей среды (включая особо ценные с экологической, научной, историко-культурной и рекреационной точки зрения территории и объекты), ее сохранения и восстановления, а также формирование благоприятной для жизни и здоровья человека природной среды [1].

Основополагающими принципами государственной экологической политики являются сохранение естественных экосистем и ландшафтов, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов, а также ограничение экологически вредной деятельности и гарантирование права граждан на достоверную экологическую информацию. Параллельно с этим в рамках международной повестки вопросы минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваются в концепции устойчивого развития [2].

Наблюдение за использованием городских земель играет ключевую роль в эффективном планировании и обеспечении устойчивого развития. Постоянное обновление данных о трансформациях в структуре городского пространства и характере землепользования особенно важно для рекреационных зон, подверженных стремительным преобразованиям [3]. Рекреационные территории в структуре городской среды формируют основу зеленого каркаса, обеспечивающего экологическую устойчивость урбанизированных пространств. Воздействие антропогенных факторов на данные участки в условиях интенсивной урбанизации приводит к деградации природных экосистем и вызывает значительные, зачастую необратимые трансформации окружающей среды, проявляющиеся в виде экологического стресса. В связи с этим особую экологическую и научную ценность приобретают даже малые природные фрагменты, что подчеркивает необходимость и актуальность регулярного мониторинга состояния городских земель [1, 2, 4]. Проблема негативного воздействия урбанизации на экологическое состояние внутригородских рекреационных зон является предметом активного изучения для специалистов во всем мире. В связи с этим разработка и апробация эффективных методик мониторинга, таких как рассматриваемая в данном исследовании, приобретают особую значимость [5].

В рамках статьи мониторинг городских земель анализируется как структурный элемент системы государственного земельного мониторинга, при этом земля предстает в качестве ключевого компонента природной среды, подлежащего приоритетной охране. Методика мониторинга городских земель, разработанная В.М. Окмянской [2], основана на комплексном учете многофакторного антропогенного воздействия на природоохранные территории в условиях урбанизированной среды. В качестве объекта исследования рассматриваются земли парка культуры и отдыха (ПКиО) города Уральска. С возрастанием антропогенной нагрузки усиливается значимость парковых территорий как ключевого средоформирующего и средозащитного элемента в системе землепользования городского пространства.

## 2 Материалы и методы

Методологической основой для оценки антропогенного воздействия на земли ПКиО города Уральска послужила методика В.М. Окмянской [2, 6] с учетом специфики объекта исследования. В качестве исходных материалов для проведения исследования использовались научные, исторические и нормативно-правовые

---

1 Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 г. № 400-VI ЗРК. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (дата обращения: 06.04.2025).

источники, отражающие сущность рассматриваемой проблемы, а также информационные бюллетени, картографические материалы и отчеты по природопользованию Уральска.

Методология исследования включала последовательную реализацию пяти этапов:

- 1) определение факторов негативного воздействия;
- 2) оценка воздействия на исследуемый объект отдельного фактора;
- 3) формирование системы репрезентативных показателей;
- 4) сбор и обработка данных;
- 5) интегральная оценка совокупного негативного воздействия всех факторов.

На основе картографического анализа и натурных обследований было проведено зонирование территории парка и выявлены основные факторы негативного воздействия. Оценка степени воздействия каждого фактора осуществлялась на основе трех критериев: площадь распространения (ареал проявления), интенсивность (сила воздействия) и продолжительность (срок действия), после чего был применен расчетный алгоритм с определенными весовыми коэффициентами для количественной оценки. На заключительном этапе выполнен расчет интегрального показателя на основе данных регионального мониторинга окружающей среды за 2017–2024 годы<sup>2</sup>.

Определение факторов негативного воздействия проводится путем анализа источников загрязнения (транспорт, предприятия, бытовые отходы, рекреационная нагрузка), выявления антропогенных и природных факторов, влияющих на экологическое состояние парка, и установления ключевых экологических проблем (загрязнение воздуха, почвы, воды, вырубка деревьев и жилая застройка вблизи парка). В результате комплексного анализа территории парка были выявлены факторы, оказывающие существенное влияние на состояние земель и природных объектов, классифицированные по четырем основным блокам: «Благоустройство территории», «Рекреационное природопользование», «Характеристики городской среды» и «Уровень застроенности».

Тип и категория природоохранного объекта для городского парка устанавливаются в зависимости от преобладающего фактора негативного воздействия. Исследуемая территория классифицируется [6] как объект непроизводственного типа, относящийся к категории городских рекреационных зон. В соответствии с этим формируется система репрезентативных показателей мониторинга городских земель.

Оценка негативного воздействия на земли ПККО  $O_{нег\_возд\_ООПТ}$  производится с использованием обобщенной формулы, которая учитывает не только влияние каждого из факторов, но и их совокупное взаимодействие, позволяющее получить более комплексную и достоверную картину степени деградации земель [6]:

$$1 \quad O_{нег\_возд\_ООПТ} = a_1 P_{зем} + a_2 P_{возд} + a_3 P_{жив} + a_4 P_{вод} + a_5 P_{раст},$$

где  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  — весовые коэффициенты значимости каждого компонента в общем воздействии;

$P_{зем}, P_{возд}, P_{жив}, P_{вод}, P_{раст}$  — индексы антропогенной нагрузки по блокам «Земля / почва», «Воздух», «Животный мир», «Вода», «Растительный мир» соответственно.

*Индексы антропогенной нагрузки* — количественные показатели, которые отражают уровень негативного воздействия человека на соответствующие компоненты окружающей среды. Эти индексы могут быть получены из различных источников в зависимости от доступных данных и методов расчета.

Объектом исследования выступил ПККО города Уральска — старейший регулярный парк в Казахстане площадью 23,9368 га, расположенный в северо-

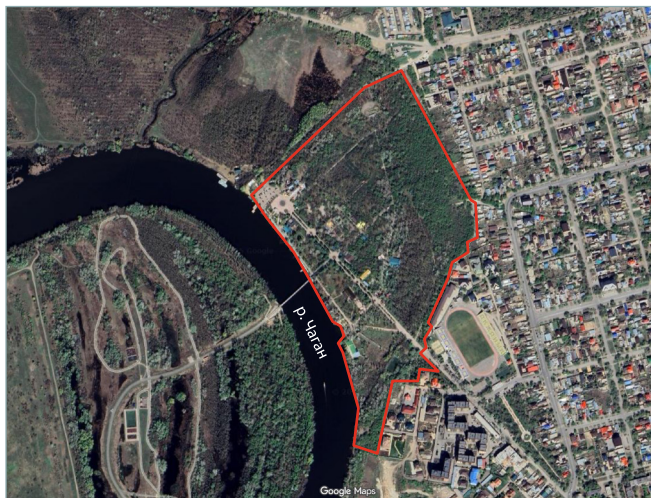
2 Национальные доклады о состоянии окружающей среды в Республике Казахстан. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ecogofond.kz/orhusskaja-konvencija/dostup-k-jekologicheskoi-informacii/jekologijaly-zha-daj/r-orsha-an-ortany-zhaj-k-ji-turaly-ltty-bajandamalar/> (дата обращения: 04.05.2025).

**Рис. 1**

Территория парка культуры и отдыха города Уральска

**Fig. 1**

The territory of the Uralsk Culture and Recreation Park



**Таблица 1**

Функциональное зонирование парка культуры и отдыха г. Уральска

**Table 1**

Functional zoning of the Uralsk City Park of Culture and Recreation

Зона	Площадь, га	Доля, %	Объекты и элементы благоустройства
Благоустроенная	5,20	21,7	Пешеходные дорожки и аллеи; зоны отдыха; зеленые насаждения; освещение; кафе, киоски
Развлекательная	2,97	12,5	Детские игровые площадки; спортивные площадки; картинг, велотреки; фонтаны и водоемы; летние аттракционы; концертные и театральные площадки; элементы экстрима
Природная	15,73	65,8	Леса и кустарники; естественные экосистемы; тропинки

западной части города, на берегу реки Чаган. Парк находится в удалении от городского шума, но при этом в пределах пешей доступности от центральной части города. ПКиО является памятником истории и культуры местного значения, находится под охраной государства<sup>3</sup>, а также выполняет в Уральске функцию системообразующего элемента природно-ландшафтного каркаса, в пределах которого устанавливаются ограничения на ведение хозяйственной деятельности (рис. 1). На территории парка выделены функциональные зоны с различным режимом хозяйственного использования: благоустроенная, развлекательная и природная. Наличие таких объектов инфраструктуры, как пункты питания, аттракционы, сцены и спортивные площадки, концентрирующие рекреационную нагрузку (табл. 1), приводит к значительным антропогенным преобразованиям природной среды парка<sup>4</sup>.

На основе анализа рекреационного использования парка выявлено, что основным фактором, определяющим состояние его земель, выступают компоненты городской среды.

### 3 Результаты

**Таблица 2**

Распределение компонентов по группам

**Table 2**

Distribution of components by groups

Группа	$i$	Коэффициент $a_i$	Компонент природной среды
А	1	0,42	Земля / почва
	2	0,26	Воздух
	3	0,10	Вода
В	4	0,16	Растительный мир
	5	0,06	Животный мир

Весовые коэффициенты рассчитаны методом Парето, основанным на принципе 80/20 (20 % самых значимых факторов объясняют 80 % влияния, а оставшиеся 80 % факторов дают лишь 20 % влияния). В данном случае были определены пять ключевых блоков, которые были ранжированы по степени значимости: группа А — наиболее значимые компоненты («Земля / почва», «Воздух», «Растительный мир»), группа В — менее значимые («Животный мир», «Вода»). Сумма всех коэффициентов должна составлять единицу (100 % влияния). Далее, согласно работам [2, 6, 7], был рассчитан оптимальный весовой коэффициент первого (самого значимого) компонента. Распределение компонентов по группам показано в табл. 2.

3 Белый А. В парке старинном: рекламный проспект. Куйбышев: Куйбышевский обком КПСС, 1990. 30 с.

4 Отчет по инвентаризации зеленых насаждений в городском парке культуры и отдыха и разработке дендрологического плана. Алматы, 2021. 43 с.

Для определения приоритетного негативного воздействия применялось соответствующее методу Парето стандартное распределение весов, разработанное Всемирным фондом дикой природы (с учетом значимости компонентов природной среды в соответствии с видом природоохранной территории).

Приведем итоговую формулу для расчета оценки негативного воздействия на земли ПККО города Уральска:

$$O_{нег\_возд\_ООПТ} = 0,42P_{зем} + 0,26P_{возд} + 0,06P_{жив} + 0,1P_{вод} + 0,16P_{раст}.$$

Значение показателя  $O_{нег\_возд\_ООПТ}$  может принимать значения от 0 до 1, где 0 соответствует отсутствию антропогенного воздействия, 1 — сильному влиянию на парк хозяйственной деятельности (табл. 3).

**Таблица 3** Ранжирование оценки негативного воздействия на земли ПККО города Уральска

**Table 3** Ranking of the assessment of the negative impact on the lands of the Uralsk City Park of Culture and Recreation

$O_{нег\_возд\_ООПТ}$	Степень нарушенности экосистем парка	Негативное воздействие
0–0,25	—	—
0,26–0,5	Слабая	Изменения в экосистемах и воздействие минимальны
0,51–0,75	Средняя	Экосистемы претерпели значительное воздействие
0,76–1	Сильная	Экосистемы значительно нарушены, естественное восстановление практически невозможно

Территория ПККО города Уральска относится к категории земель населенных пунктов, располагается в центре города; следовательно, влияние селитебного фактора проявляется здесь постоянно. Сильное воздействие городской среды привело к существенным изменениям почвенного и растительного покрова: он нарушен в результате строительства и функционирования объектов рекреационной, инженерной инфраструктуры. Значения показателей мониторинга земель ПККО города Уральска по состоянию на середину 2024 года, представленные в табл. 4, соответствуют данным мониторинга окружающей среды на территории города<sup>5</sup> [8–10].

Для оценки негативного воздействия на земли ПККО применим формулу (2):

$$O_{нег\_возд\_ООПТ} = 0,42 \times 0,93 + 0,26 \times 0,68 + 0,16 \times 0,63 + 0,1 \times 0,6 + 0,06 \times 0,68 = 0,76.$$

Полученный результат соответствует сильно измененным экосистемам (табл. 3).

**Таблица 4** Результаты мониторинга земель парка культуры и отдыха города Уральска по состоянию на 1 июня 2024 г.

**Table 4** The results of monitoring the lands of the Uralsk Culture and Recreation Park as of June 1, 2024

Компонент природной среды	Показатель	Значение показателя	Максимальное значение ( $x_i^{max}$ )	Нормированное значение ( $x_i^{norm}$ )	Индекс антропогенной нагрузки по блоку показателей ( $P_{mi}$ )
Земля / почва	Площадь озеленения, га	18,7	18,7	1	0,93
	Застроенные земли, га	1,34	1,34	1	
	Суммарный показатель загрязнения почвы, безразмерный	12	15	0,8	
Вода (река Чаган)	Индекс загрязненности воды, безразмерный	1,00	1,64	0,6	0,6
Воздух	Индекс загрязнения атмосферного воздуха, безразмерный	2,4	3,5	0,68	0,68
Растительный мир	Индекс редких видов растений, безразмерный	8,25	13,05	0,63	0,63
Животный мир	Индекс редких видов животных, безразмерный	15,47	22,58	0,68	0,68

<sup>5</sup> Национальный доклад о состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2023 год. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/716519> (дата обращения: 04.05.2025).

## 4 Обсуждение

Интегральная оценка негативного воздействия (0,76) является тревожным индикатором состояния ПКиО города Уральска. Данный результат закономерен и обусловлен совокупностью факторов. Причиной деградации выступает сочетание интенсивной рекреационной нагрузки в благоустроенной и развлекательной зонах (34,2 % площади парка) и постоянной антропогенной нагрузки со стороны урбанизированного окружения. Именно на эти зоны приходится основная посещаемость, что приводит к уплотнению почв, механическому повреждению растительности и загрязнению. Это соответствует глобальным тенденциям, описанным в работе [5].

Наибольший вклад в итоговый показатель внес компонент «Земля / почва» (наибольший вес 0,42 и высокий индекс 0,93). Это объясняется не только физической деградацией почвы, но и химическим загрязнением из-за близости к городским транспортным коммуникациям и зонам накопления бытовых отходов. Высокий индекс нагрузки на воздух (0,98) дополнительно подтверждает влияние автотранспорта.

Проведенное исследование показывает эффективность адаптированной методики для комплексной оценки городских рекреационных территорий. Практическая значимость работы заключается в том, что ее результаты обосновывают необходимость разработки программы по экологической реабилитации парка для органов городского управления.

Визуальный осмотр подтвердил выполненные расчеты. Действительно, в настоящее время экологическая ситуация в парке критическая, о чем свидетельствуют фотографии, сделанные 19 апреля 2025 года (рис. 2).

**Рис. 2** 

Современное состояние парка культуры и отдыха города Уральска (фото: Ж.Б. Тасанова)

**Fig. 2**

The current state of the Uralsk Culture and Recreation Park (photos by Zhadyra B. Tassanova)



## 5 Выводы

На основе проведенного анализа установлено следующее. Земли ПКиО города Уральска подвергаются значительному антропогенному воздействию, оценка которого (0,76) показала, что экосистемы парка находятся в сильно измененном состоянии. Это свидетельствует о существенной угрозе естественному восстановлению некоторых природных компонентов.

Ключевыми факторами негативного воздействия на парк являются интенсивная урбанизация прилегающих территорий, высокая рекреационная нагрузка, загрязнение воздуха и воды. Парк, несмотря на свое историко-культурное и экологическое значение, испытывает давление со стороны городской инфраструктуры и активной хозяйственной деятельности. Наличие зон активного отдыха, объектов массового пользования, а также ограниченность охраняемых участков природной среды ведут к дальнейшей деградации парка.

По результатам исследования можно предложить следующие рекомендации:

- 1) ограничить строительство и хозяйственную деятельность вблизи парка, усилить контроль за соблюдением природоохранного режима на всей территории парка;
- 2) разработать и внедрить план мероприятий по восстановлению нарушенных участков, в том числе по восстановлению почвенного и растительного покрова;
- 3) внедрить регулярную систему мониторинга состояния компонентов окружающей среды на территории парка;
- 4) активизировать экологическое просвещение населения и вовлечь местных жителей и волонтеров в программы по охране городской природы.

Таким образом, сохранение и восстановление парка как значимого природного и социального ресурса требует комплексного, междисциплинарного подхода с участием экологов, градостроителей, органов власти и местного самоуправления.

### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Тасанова Ж.Б., Есмагулова Б.Ж., Сизов А.П. Диагностика антропогенных изменений земель парка культуры и отдыха города Уральска при помощи дистанционного мониторинга // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68, № 3. С. 99–108. DOI:10.30533/GiA-2024-024.
2. Окмянская В.М. Апробация методики мониторинга земель на примере природного парка «Самаровский Чугас», Ханты-Мансийский автономный округ – Югра // Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 4. С. 118–128. DOI:10.33764/2411-1759-2023-28-4-118-128.
3. Сизова Е.А., Стыценко Е.А. Диагностика антропогенных изменений на особо охраняемой природной территории сверхкрупного города при помощи дистанционного мониторинга (на примере московской зоны отдыха «Аллея Дорога жизни») // Геодезия и картография. 2016. № 11. С. 53–59. DOI:10.22389/0016-7126-2016-917-11-53-59.
4. Farías-Torbidoni E.I., Rossi S.D., Pickering C.M. Visitation Patterns in a Peri-Urban Natural Park: Comparing Mountain Bikers, Runners, Walkers and Hikers // Journal of Outdoor Recreation and Tourism. 2023. Vol. 44. P. 100686. DOI:10.1016/j.jort.2023.100686.
5. Haase D. Integrating Ecosystem Services, Green Infrastructure and Nature-Based Solutions – New Perspectives in Sustainable Urban Land Management // Weith T., Barkmann T., Gaasch N., et al. (eds). Sustainable Land Management in a European Context. Cham: Springer, 2021. P. 305–318. DOI:10.1007/978-3-030-50841-8\_16.
6. Окмянская В.М. Разработка методики мониторинга земель особо охраняемых природных территорий с учетом региональных особенностей на примере Тюменской области: дис. ... канд. техн. наук. М., 2024. 159 с.
7. Дмитриева М.В. Комплексная оценка и картографирование геоэкологической ситуации в Астраханской области // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2020. Т. 64, № 6. С. 725–730. DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-6-725-730.


8. Бакытжанкызы Д., Сапаров Е., Аюпов Е.Е. Экологическое состояние почвенного покрова рекреационных территорий города Уральска // Молодой ученый. 2018. № 17(203). С. 144–146. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/203/49731> (дата обращения: 26.04.2025).
9. Карашова Г.И., Сакебаева Л.Д., Имангазина З.А. Состояние загрязненности поверхностных вод в бассейне реки Урал // West Kazakhstan Medical Journal. 2012. № 3(35). С. 154–155.
10. Имашев Э.Ж. Пространственный анализ изменения экологического состояния окружающей среды Западно-Казахстанской области // Вестник КазНУ. Серия географическая. 2011. № 1(32). С. 13–20.

**АВТОРЫ Тасанова Жадыра Байжановна**

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

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана»,  
Уральск, Казахстан

Индустриально-технологический институт

 0000-0003-2756-9507

**Сизов Александр Павлович**

 [ap\\_sizov@mail.ru](mailto:ap_sizov@mail.ru)


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

кафедра землеустройства и кадастров, факультет управления территориями

д-р техн. наук, профессор

 0000-0001-6175-0145

**Джигильдиева Жанылсын Гумаровна**


 [j\\_zhanylsyn@mail.ru](mailto:j_zhanylsyn@mail.ru)

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана»,  
Уральск, Казахстан

Индустриально-технологический институт

 0000-0002-4272-9751

**Утегалиева Нургуль Хабибулловна**


 [unurkh888@mail.ru](mailto:unurkh888@mail.ru)

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана»,  
Уральск, Казахстан

Индустриально-технологический институт

 0000-0001-9127-5808

**Мухитов Мирас Гаделжанович**

 [zemelni.otdel@bko.gov.kz](mailto:zemelni.otdel@bko.gov.kz)

ГУ «Отдел земельных отношений города Уральска», Уральск, Казахстан

Поступила 12.05.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



# Assessment of the Negative Impact on the Lands of Urban Recreational Areas (Using the Example of the Uralsk Culture and Recreation Park)

**Zhadyra B. Tassanova<sup>1,2</sup>✉, Alexander P. Sizov<sup>2</sup>,  
Zhanylsyn G. Dzhigildieva<sup>1</sup>, Nurgul Kh. Utegalieva<sup>1</sup>,  
Miras G. Mukhitov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Zhangir khan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan

<sup>2</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Department of Land Relations of the City of Uralsk, Uralsk, Kazakhstan

✉ tasanova\_84@list.ru


**CITATION** Tassanova ZB, Sizov AP, Dzhigildieva ZG, Utegalieva NKh, Mukhitov MG. Assessment of the Negative Impact on the Lands of Urban Recreational Areas (Using the Example of the Uralsk Culture and Recreation Park). *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 168–178. DOI:10.30533/GiA-2025-062.

**KEYWORDS** anthropogenic impact, urban recreational area, land monitoring, urbanization, environmental assessment



**ABSTRACT** This study is devoted to the analysis of the state of the lands of the Uralsk City Park of Culture and Recreation, one of the oldest regular parks in Kazakhstan, in order to assess the impact of anthropogenic factors on the ecosystem of this object of natural and cultural significance. The paper uses as a basis the methodology of monitoring urban lands proposed by V.M. Okmyanskaya to assess the negative impact on the park lands. An assessment of the anthropogenic impact on the natural components of the park has shown that the park's ecosystems have undergone significant changes: pollution of soil, air and water, and a reduction in the biodiversity of vegetation and animals. Based on the analysis, it was found that the park's ecosystems are in an average altered state (estimate 0.76), which threatens the natural restoration of some natural components. The key factors of the negative impact are intensive urbanization, high recreational load, as well as environmental pollution. Recommendations have been developed to restore the damaged areas, improve control over the environmental regime and enhance environmental education. The results of the study emphasize the importance of an integrated approach to the conservation and restoration of natural sites in conditions of urbanization.

- REFERENCES**
1. Tasanova ZhB, Esmagulova BZh, Sizov AP. Diagnostika antropogennykh izmenenii zemel' parka kul'tury i otdykha goroda Ural'ska pri pomoshchi distantsionnogo monitoringa [Diagnostics of Anthropogenic Changes in the Lands of the Uralsk Culture and Recreation Park Using Remote Monitoring]. *Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2024;68(3): 99–108. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2024-024.
  2. Okmyanskaya VM. Aprobatziya metodiki monitoringa zemel' na primere prirodnogo parka "Samarovskii Chugas", Khanty-Mansiiskii avtonomnyi okrug – Yugra [Approbation of Land Monitoring Techniques Using the Example of the Samarovsky Chugas Nature Park, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra]. *Vestnik SSUGT*. 2023;28(4): 118–128. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2023-28-4-118-128.
  3. Sizova EA, Stytsenko EA. Diagnostika antropogennykh izmenenii na osobo okhranyaemoi prirodnoi territorii sverkhkrupnogo goroda pri pomoshchi distantsionnogo monitoringa (na primere moskovskoi zony otdykha "Alleya Doroga zhizni") [Diagnostics of Anthropogenic Changes in a Specially Protected Natural Area of a Super-Large City Using Remote Monitoring (on the Example of the Moscow Recreation Area "Alley of the Road of Life")]. *Geodesy and Cartography*. 2016;11: 53–59. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2016-917-11-53-59.
  4. Fariás-Torbidoni EI, Rossi SD, Pickering CM. Visitation Patterns in a Peri-Urban Natural Park: Comparing Mountain Bikers, Runners, Walkers and Hikers. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. 2023;44: 100686. DOI:10.1016/j.jort.2023.100686.
  5. Haase D. Integrating Ecosystem Services, Green Infrastructure and Nature-Based Solutions – New Perspectives in Sustainable Urban Land Management. *Sustainable Land Management in a European Context*. Weith T., Barkmann T., Gaasch N., et al. (eds). Cham: Springer; 2021: 305–318. DOI:10.1007/978-3-030-50841-8\_16.
  6. Okmyanskaya VM. *Razrabotka metodiki monitoringa zemel' osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii s uchetom regional'nykh osobennostei na primere Tyumenskoi oblasti* [Development of a Methodology for Monitoring Lands of Specially Protected Natural Territories Taking into Account Regional Peculiarities Using the Example of the Tyumen Region] [dissertation]. Moscow; 2024. 159 p. (In Russian).
  7. Dmitrieva MV. Kompleksnaya otsenka i kartografirovanie geoekologicheskoi situatsii v Astrakhanskoi oblasti [Comprehensive Assessment and Mapping of the Geoecological Situation in the Astrakhan Region]. *Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2020;64(6): 725–730. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-6-725-730.
  8. Bakytzhankyzy D, Saparov E, Ayupov EE. Ekologicheskoe sostoyanie pochvennogo pokrova rekreatsionnykh territorii goroda Ural'ska [Ecological State of the Soil Cover of Recreational Areas of the City of Uralsk]. *Young Scientist*. 2018;17(203): 144–146. (In Russian). Available from: <https://moluch.ru/archive/203/49731> (Accessed 26 April 2025).
  9. Karashova GI, Sakebayeva LD, Imangazina ZA. Sostoyanie zagryaznennosti poverkhnostnykh vod v basseine reki Ural [The State of Surface Water Pollution in the Ural River Basin]. *West Kazakhstan Medical Journal*. 2012;3(35): 154–155. (In Russian).
  10. Imashev EJ. Prostranstvennyi analiz izmeneniya ekologicheskogo sostoyaniya okruzhayushchei sredy Zapadno-Kazakhstanskoi oblasti [Spatial Analysis of Changes in the Ecological State of the Environment of the West Kazakhstan Region]. *Journal of Geography and Environmental Management*. 2011;1(32):13–20. (In Russian).

**AUTHORS** **Zhadyra B. Tassanova**

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia;  
Zhangir khan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan  
Industrial and Technological Institute  
 0000-0003-2756-9507

**Alexander P. Sizov**

 [ap\\_sizov@mail.ru](mailto:ap_sizov@mail.ru)  
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
Department of Land Management and Cadastre, Faculty of Territory Management  
Dr. of Sci. (Engineering), Professor  
 0000-0001-6175-0145

**Zhanylsyn G. Dzhigildieva**

✉ j\_zhanylsyn@mail.ru

Zhangir khan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan  
Industrial and Technological Institute

🆔 0000-0002-4272-9751

**Nurgul Kh. Utegalieva**

✉ unurkh888@mail.ru

Zhangir khan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan  
Industrial and Technological Institute

🆔 0000-0001-9127-5808

**Miras G. Mukhitov**

✉ zemelni.otdel@bko.gov.kz

Department of Land Relations of the City of Uralsk, Uralsk, Kazakhstan

**Submitted: May 12, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.**



# Обоснование принципа построения высокоширотной гиристанции

**А.П. Каверин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> АО «106 экспериментальный оптико-механический завод», Москва, Россия  
 alexkaverin1998@gmail.com

**ЦИТИРОВАНИЕ** Каверин А.П. Обоснование принципа построения высокоширотной гиристанции // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 179–188. DOI:10.30533/GiA-2025-063.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** гиристанция, геодезические подземные изыскания, истинный азимут, истинный меридиан, лазерный гироскоп, высокоширотная геодезия

**АННОТАЦИЯ** В настоящее время для решения широкого круга топогеодезических задач, связанных с ориентацией по истинному меридиану, чаще всего используют гиротеодолиты или гиристанции. Они зарекомендовали себя как универсальные и практичные приборы, считающиеся незаменимыми при выполнении ряда геодезических и маркшейдерских задач ввиду возможности определять направление истинного меридиана вне зависимости от космической погоды, наличия либо отсутствия сигнала ГЛОНАСС или GPS. Однако у них есть и существенный недостаток — невозможность работы в широтах свыше 75–80°. Данная проблема актуальна для двух наиболее распространенных сегодня типов приборов — основанных на действии лазерных и роторных гироскопов. В открытом доступе были найдены характеристики импортных и отечественных гиристанций. Результаты их сравнения, а также анализа с точки зрения требований, приведенных в действующих нормативных документах, позволили выявить возможность спроектировать гиротеодолит, в основу которого положен новый принцип действия. В статье предложен принцип действия гиристанций, обеспечивающий измерение направлений относительно истинного меридиана с погрешностями в пределах единиц секунд, что особенно важно для маркшейдерии и работы в арктических условиях. Рассмотрены способы применения, физические основы функционирования таких гиристанций, требования к данному классу приборов и основные погрешности, влияющие на работу устройства. Полученные результаты могут помочь при проведении изысканий в крайних северных широтах, ранее недоступных для применения подобной аппаратуры, при этом будут обеспечены не только высокие точностные, но и приемлемые эксплуатационные характеристики.

## 1 Введение

На Земле существуют места, где проведение геодезических и маркшейдерских изысканий осложняется внешними факторами. К таким факторам, помимо прочих, можно отнести работы без привязки к постоянным опорным пунктам и работы на местности, где отсутствуют ГЛОНАСС- и GPS-сигналы [1]. Зачастую с описанными проблемами пользователи геодезической аппаратуры сталкиваются при проведении работ в подземных выборках и на арктических территориях [2].

Территории, находящиеся в широтах выше  $75-80^\circ$ , справедливо считаются одними из самых непростых для геодезических изысканий [3]. Несмотря на то, что эти территории, включающие в себя арктические острова Норвегии, России, Канады и Гренландии, почти не заселены, топографо-геодезическое и картографическое обеспечение играет немаловажную роль в их развитии [4]. Упростить задачу геодезистам и маркшейдерам, работающим в данных регионах, могла бы аппаратура, позволяющая проводить привязку к истинному азимуту, но большая ее часть имеет ограничения при работе в широтах выше  $75-80^\circ$ .

Проведение подземных работ требует постоянной привязки к системе координат, принятой на поверхности. Эту привязку возможно осуществить, проводя измерения с поправкой на истинный меридиан [5]. Он не меняется в зависимости от глубины и всегда соответствует величине, определенной на поверхности. При этом для маркшейдерских изысканий требуется малогабаритный и легкий прибор, позволяющий проводить измерения в условиях труднодоступных и тесных шахт и тоннелей.

К подобным приборам чаще всего относят приборы с гирокомпасами — гиротеодолиты и гиростанции. Принцип их действия выстроен вокруг работы гироскопа, что позволяет определять истинный меридиан и проводить измерения углов относительно него.

## 2 Материалы и методы

Для формулирования требований к рассматриваемому классу приборов были проанализированы принятые нормативные документы в исследуемой области, а также проведено сравнение отечественных и зарубежных устройств.

Подробное сравнение характеристик образцов приведено в работе [6]. Оно показывает, что гиростанции различных производителей, таких как Sokkia, DMT, ГК «Ориентир», АО «106 ЭОМЗ», имеют схожие характеристики. Говоря о гиротеодолитах (ГИ-БЗ) как о технологических предшественниках гиростанций, стоит отметить и их неспособность проводить измерения истинных азимутов в широтах выше  $75-80^\circ$  с заданной точностью.

Основные требования к рассматриваемому классу приборов изложены в следующих нормативных документах:

- 1) ГОСТ Р 50997-96<sup>1</sup> (согласно этому стандарту, все маркшейдерские гирокомпасы можно разделить в зависимости от продолжительности пуска, среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности определения гироскопического азимута на три типа: I, II и III; из-за постоянного совершенствования угломерных приборов при оценке характеристик предложенного прибора следует ориентироваться на маркшейдерские гирокомпасы I типа, т. к. он включает наиболее высокоточные, практичные и современные изделия);

<sup>1</sup> ГОСТ Р 50997-96. Гирокомпасы маркшейдерские. Общие технические условия. М.: Госстандарт России, 1997. 13 с.

- 2) ГОСТ Р 53340-2009<sup>2</sup> (данный стандарт устанавливает технические требования на широкий круг геодезических приборов; наибольший интерес представляют требования к геодезическим приборам с программным обеспечением — возможность передачи информации на внешние носители для хранения и последующей обработки данных, автоматическое вычисление функций полученных величин, а также решение отдельных геодезических задач);
- 3) приказ Ростехнадзора от 19 мая 2023 года № 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности»<sup>3</sup> (в этом документе приводятся требования к точности маркшейдерских изысканий, величине невязок и расхождений, а также к гироскопическому способу ориентирования).

Исходя из перечисленных в приведенных документах требований и сравнения характеристик аналогов, можно сделать вывод об основных конструктивных и точностных требованиях к современным угломерным приборам с гирокомпасом. В частности, данный класс приборов должен обладать высокими эргономическими параметрами и работать в различных климатических условиях.

Сравнение приборов с гирокомпасом в рамках рассмотренных документов показывает, что большинство современных гиростанций удовлетворяет данным требованиям. Кроме того, ведется работа по совершенствованию точностных характеристик такой аппаратуры [7–9]. Общий ее недостаток — невозможность измерения истинного азимута на широтах свыше 75–80° с заданной точностью. Возможность проведения измерений в указанных широтах могла бы стать серьезным преимуществом перед существующими приборами рассматриваемого класса.

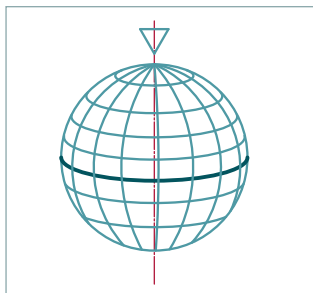
**Рис. 1** ✓

Пояснение к принципу действия прибора

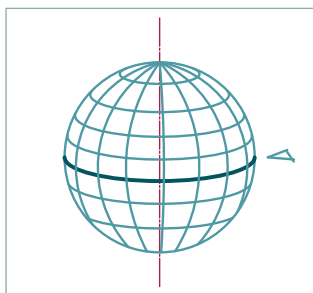
**Fig. 1**

Explanation of the principle of operation of the device

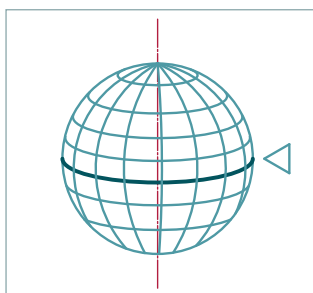
Резонатор лазерного гироскопа на полюсе / The resonator of the laser gyroscope at the pole



Резонатор лазерного гироскопа в плоскости экватора / The resonator of the laser gyroscope in the plane of the equator



Резонатор лазерного гироскопа перпендикулярен плоскости экватора / The resonator of the laser gyroscope is perpendicular to the plane of the equator



## 3 Результаты

### 3.1 Конструкция и принцип действия прибора

В результате исследования современных приборов с гирокомпасом была предложена гиростанция, чей принцип действия был рассмотрен еще в 1970-х годах<sup>4</sup>. В связи с развитием технической базы в настоящее время он получил возможность реализации. Данный принцип основан на согласованном действии лазерного гироскопа и угломерной системы. Истинный азимут искомого объекта определяется на основе знания направления истинного меридиана, который первоначально определяется грубо, например при помощи буссоли. Зная приблизительное направление истинного меридиана, возможно произвести точное определение истинного меридиана при помощи лазерного гироскопа: поворотная платформа вращает его до получения нулевой разности частот противоположно направленных волн в резонаторе. В данном случае нулевая разность частот будет свидетельствовать о том, что вращение планеты не влияет на лазерный гироскоп и плоскость его резонатора совпадает с плоскостью истинного меридиана. Описанный принцип проиллюстрирован на рис. 1.

После нахождения плоскости истинного меридиана поворотная платформа фиксирует лазерный гироскоп в данном положении. Нуль лимба лежит в плоскости резонатора лазерного гироскопа. При совмещении нулей лимба и алидады ось зрительной трубы направлена на истинный север. Данное положение

2 ГОСТ Р 53340-2009. Приборы геодезические. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2011. 11 с.


3 Приказ Ростехнадзора от 19 мая 2023 г. № 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1301713025> (дата обращения: 09.04.2025).

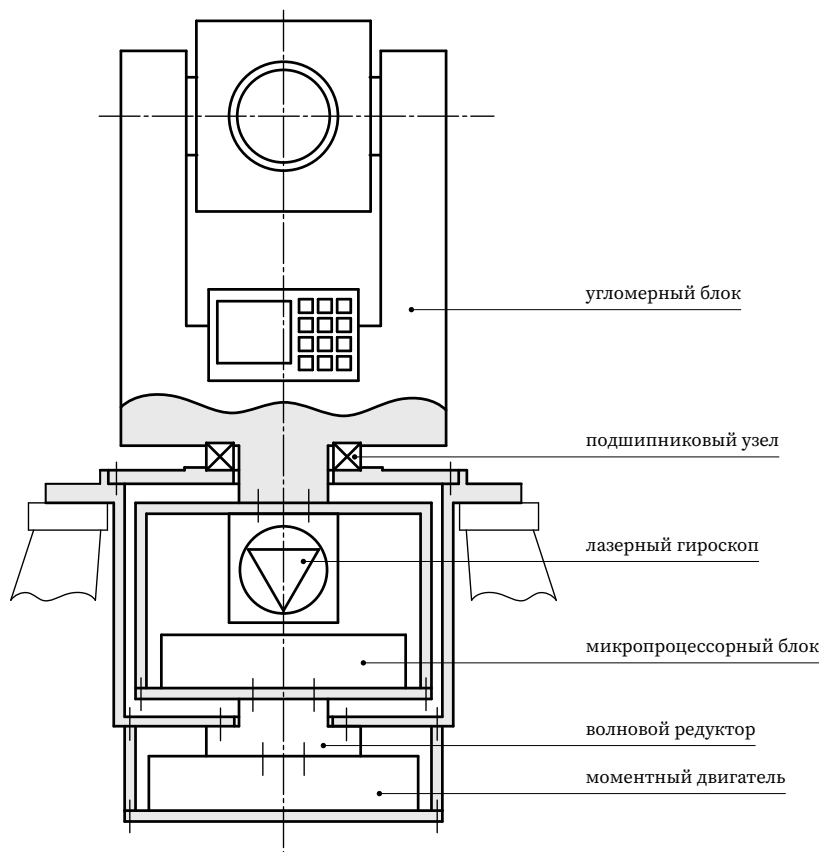
4 Воронков Н.Н., Ашимов Н.М. Гироскопическое ориентирование. М.: Недра, 1973. 224 с.

можно принимать за исходное и проводить измерения истинного азимута, наводясь на объект от данного направления.

Преимуществом данного способа работы является возможность проведения измерений в крайних широтах, в то время как у большинства приборов с лазерным гирокомпасом, предназначенных для измерения истинного азимута, имеется ограничение для работы до  $75-80^\circ$ . Это отличие обусловлено тем, что приборы, чей принцип действия основан на измерении проекции вектора угловой скорости вращения Земли гироскопом [10], не позволяют проводить измерения там, где эта проекция становится меньше определенного уровня. Последний обусловлен в первую очередь точностными характеристиками гироскопа.

Конструктивная схема описываемого прибора представлена на рис. 2.

**Рис. 2**  Конструктивная схема прибора  
**Fig. 2**  
Design diagram of the device




Основными конструктивными элементами описываемого прибора служат гироскопический и угломерный блоки, связанные через подшипниковый узел. Для обработки полученной информации применяется микропроцессорный блок, а для ввода данных и вывода результатов оператору — блок управления. Прибор устанавливается на штатив, питается от встроенных аккумуляторов и имеет встроенный интерфейс для оперативного обмена информацией с подключаемыми устройствами.

Гироскопический блок состоит из лазерного гирокомпаса, размещенного на высокоточной поворотной платформе, которая образована волновым редуктором и моментным двигателем. Резонатор лазерного гироскопа лежит в плоскости, совпадающей с осью вращения поворотной платформы. Угломерный блок включает в себя вертикальный и горизонтальный отсчетные круги, зрительную трубу и дальномерный модуль. Для грубого определения магнитного меридиана и направления на север используется буссоль. На корпусе также размещены разъемы внешних подключений, съемный аккумуляторный блок. Для повышения точности измерений в конструкции применен электронный уровень.

Функциональная схема описываемого прибора представлена на рис. 3. Как уже было обозначено ранее, прибор должен быть выполнен в едином корпусе.



**Рис. 3**   
 Функциональная схема прибора  
**Fig. 3**  
 Functional diagram of the device

Порядок измерения истинного азимута можно описать следующим образом:

- 1) начало;
- 2) запуск гироскопического блока;
- 3) выбор объекта, определяющего направление стороны измеряемого угла;
- 4) пространственная ориентация угломерного прибора, грубое ориентирование при помощи буссоли;
- 5) получение результата определения направления на истинный север;
- 6) контроль пространственного ориентирования геометрической схемы;
- 7) наведение на объект;
- 8) проведение отсчета;
- 9) фиксация результата измерения направления;
- 10) вычисление определяемого угла по результатам пунктов 5 и 9;
- 11) контроль достоверности полученного результата.

### 3.2 Погрешности прибора

Для того чтобы определить точность предложенного прибора, сначала необходимо вычислить все погрешности, влияющие на его составные части. Одна из наиболее сильно влияющих погрешностей — уменьшение точности измерений по мере приближения к полюсам Земли. Следовательно, требуется определить, на какой максимально северной широте гироскопический блок будет определять направление на истинный север с заданной точностью. Как сказано выше, по данному параметру предложенный прибор имеет преимущество перед аналогами, принцип работы которых основан на определении проекции угловой скорости Земли на плоскость местного горизонта. Математическое обоснование этого утверждения представлено ниже.

Согласно исследованию [6], современные гиротеодолиты и гиристанции позволяют добиваться определения истинного азимута с погрешностью, достигающей 3". Однако стоит отметить, что столь высокой точностью данные приборы обязаны сложной конструкции, программной части и математическому аппарату.

При анализе погрешности предложенного прибора необходимо представлять его устройство, чтобы использовать в расчетах погрешности отдельных его звеньев. Его система будет включать в себя гироскопический блок и угломерную систему.

Как отмечалось ранее, гироскопический блок состоит из лазерного гироскопа с треугольным резонатором, закрепленным на высокоточной поворотной платформе. Погрешность поворотной платформы имеет принципиальное значение: от данного блока требуется повернуть гироскоп, чтобы его резонатор лег точно в плоскость меридиана, а затем удерживать его в данной позиции. О нахождении резонатора лазерного гироскопа в плоскости истинного меридиана будет свидетельствовать нулевая разность частот противоположно направленных волн.

Погрешности высокоточных угломерных систем, а также способы суммирования погрешностей отдельных звеньев хорошо изучены<sup>5</sup>.

Влияние на систему погрешности поворотного устройства будет минимальным, если оно будет находиться точно на истинном полюсе, поскольку его ось будет совпадать с осью вращения Земли. В то же время, если оно будет располагаться на линии экватора, его погрешность будет оказывать максимальное влияние на измерения лазерного гироскопа. Исходя из этого, можно сделать вывод, что погрешность  $\Delta_{ПУ}$ , вносимая поворотным устройством в систему, будет изменяться в зависимости от широты расположения  $\lambda$  согласно формуле

$$1 \quad \Delta'_{ПУ} = \Delta_{ПУ} \cos \lambda.$$

Поскольку, находясь точно на экваторе, лазерный гироскоп, развернутый строго по направлению истинного азимута, не подвержен влиянию наклона, электронный уровень не участвует в работе системы в данном положении. Напротив, при установке предложенного прибора на истинный полюс отклонение расположения лазерного гироскопа от строго вертикального положения приведет к фиксации системой углового вращения и, следовательно, возникновению погрешностей. Исходя из этого, можно сделать вывод, что погрешность  $\Delta_{ЭУ}$ , вносимая в систему электронным уровнем, будет изменяться в зависимости от широты расположения  $\lambda$  согласно формуле

$$2 \quad \Delta'_{ЭУ} = \Delta_{ЭУ} \sin \lambda.$$

Таким образом, формула, позволяющая определить максимально высокую широту, ниже которой предложенный прибор будет работать с определенной заранее погрешностью, будет выглядеть следующим образом:

$$3 \quad \lambda_{max} = 90^\circ - (\varphi + \Delta'_{ПУ} + \Delta'_{ЭУ}),$$

где  $\varphi$  — погрешность лазерного гироскопа.

Подставив численные значения, можно убедиться: полученная величина практически означает, что предложенный прибор позволяет проводить измерения по всему земному шару без ограничений по широте. Это подтверждает основную из предложенных в работе гипотез.

## 4 Обсуждение

Итогом многолетнего развития геодезического приборостроения стало появление широкого круга приборов и комплексов, предназначенных для решения самых разных топогеодезических задач. В настоящее время привычные нам задачи геодезии, касающиеся высокоточного измерения углов, осложнены необходимостью проведения работ под землей, в арктических широтах, а также развития геоинформационных систем и геодезической метрологии. Важным инструментом в этих процессах становятся угломерные приборы, включающие в себя гирокомпасы: они позволяют проводить измерения в недоступных для действия глобальных навигационных спутниковых систем местах, в частности в шахтах и тоннелях, а наличие в составе вычислительных устройств позволяет оперативно передавать и обрабатывать информацию, формировать базы данных.

Рассмотренная конструкция дает возможность создать прибор для измерений не только под землей, но и в северных широтах. Он может найти применение

5 Аникст Д.А., Константинович К.М., Меськин И.В. и др. Высокоточные угловые измерения / под ред. Ю.Г. Якушенкова. М.: Машиностроение, 1987. 479 с.

в таких проектах, как развитие геодезических сетей и проведение подземных работ на территориях Крайнего Севера.

Дальнейшими направлениями в развитии описываемого класса приборов могут стать:

- автоматизация процессов измерения;
- повышение эксплуатационных характеристик;
- расширение функционала.

## 5 Выводы

Несмотря на планомерное и многолетнее развитие геодезических приборов, еще остаются задачи, которые не способны решать даже самые передовые устройства. Современные угломерные приборы с гироскопами, к которым сегодня относят гиристанции и гиротаксметры, зарекомендовали себя как надежные и практичные изделия, но не могут использоваться для проведения измерений в крайних северных широтах.

Описанный в статье прибор демонстрирует принципиально новую конструкцию, не встречавшуюся ранее в серийно выпускаемых образцах. Принцип определения истинного азимута, предложенный ранее, получил возможность быть реализованным на современной материально-технической базе. Гиристанция, в основе которой лежит описанный принцип, не только будет иметь приемлемые массогабаритные характеристики, работать с высокой точностью, но самое главное — позволит проводить измерения на широтах свыше 80°. Эта возможность станет существенным преимуществом прибора перед аналогичными гиротеодолитами и гиристанциями.

### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Корецкий Д.С., Корецкая Г.А., Кузнецов Е.В. Определение погрешностей координат опознаков с применением спутниковых GPS-технологий // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2020. № 3(139). С. 58–64. DOI:10.26730/1999-4125-2020-3-58-64.
2. Пластинин Л.А., Ступин В.П., Олзоев Б.Н. и др. Проблемы и программы их решения при создании цифровых специализированных топографических карт Сибирской Арктики // Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24, № 4. С. 142–161. DOI:10.33764/2411-1759-2019-24-4-142-161.
3. Падерина Т.В., Соколов Д.А. Варианты конструктивной реализации диаметральной схемы гириинклинометра для высокоширотных систем подземной навигации // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2013. Т. 56, № 7. С. 21–25.
4. Мустафин М.Г., Баландин В.Н., Брынь М.Я. и др. Топографо-геодезическое и картографическое обеспечение Арктической зоны Российской Федерации // Записки Горного института. 2018. Т. 232. С. 375–381. DOI:10.31897/PMI.2018.4.375.
5. Чернов И.В. Исследование возможности определения азимута с использованием аппаратуры потребителя космических навигационных систем // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. № 3. С. 14–19.
6. Каверин А.П., Парвулюсов Ю.Б., Савиных В.П. и др. О применении комплекса САГ-1 в гражданском секторе экономики // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68, № 5. С. 133–142. DOI:10.30533/GiA-2024-041.
7. Гусев В.Н., Пупоревич А.А. Повышение точности гироскопического ориентирования за счет учета дрейфа гироазимутов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 10. С. 134–145. DOI:10.25018/0236-1493-2021-10-0-134.
8. Завьялов В.В., Саранчин А.И., Перечёсов В.С. Необходимость и возможные пути улучшения некоторых динамических характеристик корректируемых гироазимуткомпасов // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 240–244.

9. Завьялов В.В., Саранчин А.И., Перечёсов В.С. Повышение эффективности системы коррекции гироазимуткомпаса // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 247-251.
10. Голяев Ю.Д., Дронов И.В., Колбас Ю.Ю. и др. Малогабаритный гирокомпас на квазичетырехчастотном лазерном гироскопе // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2012. № 3. С. 112-125.

**АВТОР Каверин Алексей Павлович**

Акционерное общество «106 экспериментальный оптико-механический завод»,  
Москва, Россия

 0009-0003-7963-7441

**Поступила 12.04.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.**



# Justification of the Principle for Constructing a High-Latitude Gyro Station

Alexey P. Kaverin<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> JSC “106 Experimental Optical and Mechanical Plant”, Moscow, Russia  
✉ alexkaverin1998@gmail.com

**CITATION** Kaverin AP. Justification of the Principle for Constructing a High-Latitude Gyro Station. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 179–188. DOI:10.30533/GiA-2025-063.

**KEYWORDS** gyro station, geodetic underground surveys, true azimuth, true meridian, laser gyroscope, high-latitude geodesy

**ABSTRACT** Today, gyrotheodolites or gyrostances are most often used to solve a wide range of topogeodetic problems related to orientation along the true meridian. They have managed to establish themselves as versatile and practical devices that are considered indispensable for performing a number of geodetic and surveying tasks due to the ability to determine the direction of the true meridian regardless of the presence or absence of a GLONASS or GPS signal, or space weather. However, they also have a significant drawback – the inability to operate at latitudes above 75–80°. This problem is relevant for the two most common types of devices today – those based on the action of laser and rotary gyroscopes. The characteristics of imported and domestic gyro stations were found in the public domain. Their comparison, as well as an analysis of the requirements given in the current regulatory documents, revealed the possibility of designing a gyrotheodolite based on a new principle of operation. The article proposes the principle of operation of gyro stations, which provides measurement of directions relative to the true meridian with errors within units of seconds, which is especially important for surveying and work in Arctic conditions. The physical foundations of operation, the requirements for this class of devices, the main errors affecting the operation of the device, and the methods of application are considered. The results obtained can help in conducting surveys in extremely northern latitudes, previously inaccessible for the use of such equipment, providing not only high accuracy, but also acceptable operational characteristics.

**REFERENCES** 1. Koretskii DS, Koretskaya GA, Kuznetsov YeV. Opredelenie pogreshnostei koordinat opoznakov s primeneniem sputnikovikh GPS-tekhnologii [Definition of the Errors of the Control Point Coordinates Using GPS Satellite Technologies].

- Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2020;3(139): 58–64. (In Russian). DOI:10.26730/1999-4125-2020-3-58-64.
2. Plastinin LA, Stupin VP, Olzoev BN, et al. Problemi i programmi ikh resheniya pri sozdanii tsifrovikh spetsializirovannikh topograficheskikh kart Sibirskoi Arktiki [Problems and Programs of Their Solution when Creating Digital Specialized Topographic Maps of the Siberian Arctic]. *Vestnik SSUGT*. 2019;24(4): 142–161. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2019-24-4-142-161.
  3. Paderina TV, Sokolov DA. Varianti konstruktivnoi realizatsii diametralnoi skhemi giroinklinometra dlya visokoshirotnikh sistem podzemnoi navigatsii [Design Options of Diametric Schematic of Gyro-Inclinometer for High-Latitude Underground Navigation Systems]. *Journal of Instrument Engineering*. 2013;56(7): 21–25. (In Russian).
  4. Mustafin MG, Balandin VN, Brin MYa, et al. Topografo-geodezicheskoe i kartograficheskoe obespechenie Arkticheskoi zoni Rossiiskoi Federatsii [Topographic-Geodetic and Cartographic Support of the Arctic Zone of the Russian Federation]. *Journal of Mining Institute*. 2018;232: 375–381. (In Russian). DOI:10.31897/PMI.2018.4.375.
  5. Chernov IV. Issledovanie vozmozhnosti opredeleniya azimuta s ispolzovaniem apparatury potrebitelya kosmicheskikh navigatsionnikh sistem [A Study of the Ability to Determine Azimuth by Using the User Equipment of Space Navigation Systems]. *H&ES Research*. 2016;3: 14–19. (In Russian).
  6. Kaverin AP, Parvulyusov YuB, Savinikh VP, et al. O primenenii kompleksa SAG-1 v grazhdanskom sektore ekonomiki [On the Application of the SAG-1 Complex in the Civil Sector of the Economy]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2024;68(5): 133–142. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2024-041.
  7. Gusev VN, Puporevich AA. Povishenie tochnosti giroskopicheskogo orientirovaniya za schet ucheta dreifa giroazimutov [Improving Accuracy of Navigation Using Gyroscopes with Regard to Gyro Drift and Azimuth Error]. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;10: 134–145. (In Russian). DOI:10.25018/0236-1493-2021-10-0-134.
  8. Zavyalov VV, Saranchin AI, Perechyosov VS. Neobkhodimost i vozmozhnie puti uluchsheniya nekotorykh dinamicheskikh kharakteristik korrektruemikh giroazimutkompasov [Necessity and Possible Ways of Improvement of Some Dynamic Characteristics Corrected by Gyrocompass]. *Transport Business of Russia*. 2015;6: 240–244. (In Russian).
  9. Zavyalov VV, Saranchin AI, Perechyosov VS. Povishenie effektivnosti sistemi korrektsii giroazimutkompasa [Improving the Efficiency System Correction Gyroazimuthcompass]. *Transport Business of Russia*. 2015;6: 247–251. (In Russian).
  10. Golyaev YuD, Dronov IV, Kolbas YuYu, et al. Malogabaritnii girokompas na kvazichetirekhchastotnom lazernom giroskope [Small-Size Gyrocompass on Quasi-Four-Frequency Laser Gyroscope]. *Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Series: Instrument Engineering*. 2012;3: 112–125. (In Russian).

**AUTHOR Alexey P. Kaverin**

Joint-Stock Company “106 Experimental Optical and Mechanical Plant”, Moscow, Russia  
 0009-0003-7963-7441

Submitted: April 12, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.



# Юрий Исидорович Маркузе

90 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

*Развитие каждой науки определяют ключевые фигуры, чьи идеи и труды задают направление на десятилетия вперед. Среди ученых-геодезистов одной из таких фигур заслуженно и по праву является Юрий Исидорович Маркузе (16.11.1935 – 02.05.2020), чьи работы в области математической обработки измерений оказали фундаментальное влияние на современную геодезию, а масштаб фигуры характеризуется не только глубиной теоретической проработки научных идей, но и доведением подавляющего большинства из них до практической реализации.*

**Юрий Исидорович Маркузе** родился в Москве 16 ноября 1935 года. В 1953 году поступил в Московский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (МИИГАиК), где пять лет учился на геодезическом факультете. После окончания обучения работал в Геотехконторе. В 1963 году поступил в заочную аспирантуру МИИГАиК, а с 1966 года начал преподавать на кафедре геодезии МИИГАиК. В 1967 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Уравновешивание и оценка точности полигонометрических сетей», в 1973 году — докторскую диссертацию на тему «Исследование вопросов уравновешивания и оценки точности плановых геодезических сетей на ЭВМ». В 1976 году Высшая аттестационная комиссия СССР присудила Юрию Исидоровичу Маркузе ученое звание профессора. С 1996 по 2006 год он также являлся заведующим кафедрой.

**Ю.И. Маркузе посвятил науке** и образованию около шестидесяти лет, оставив после себя более 170 различных публикаций. Его ключевые монографии и научные статьи сформировали основу современных представлений по теории уравнительных вычислений и смежным разделам геодезии.

**Юрий Исидорович много** работал с молодыми специалистами. Под его руководством было защищено несколько десятков диссертаций. Многие его ученики сами стали впоследствии видными фигурами в области как теории математической обработки геодезических измерений, так и геодезии в целом.

**Как преподаватель Ю.И. Маркузе** наиболее известен своими лекциями по теории математической обработки геодезических измерений, но централь-

ное место в его педагогическом наследии занимает поставленный и читавшийся им курс «Основы уравнительных вычислений», в рамках которого подход к организации обучения характеризовался интеграцией новейших достижений в учебный процесс, что было систематизировано также в отдельном учебнике, и решением на практических занятиях прикладных задач на компьютерах с использованием авторского программного обеспечения.

**За свои научные и педагогические** заслуги Ю.И. Маркузе был удостоен многочисленных наград и званий: он заслуженный деятель науки Российской Федерации (1997), лауреат премии им. Ф.Н. Красовского (2001), кавалер ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (2003), почетный работник высшего профессионального образования Российской Феде-

рации (2005), почетный геодезист (2009), почетный профессор МИИГАиК (2012), кавалер ордена Дружбы Социалистической Республики Вьетнам (2014).

**В ноябре 2025 года в преддверии** 90-летия со дня рождения Юрия Исидоровича Маркузе кафедрой геодезии МИИГАиК был организован и проведен памятный круглый стол. Мероприятие собрало коллег, учеников и последователей Юрия Исидоровича, которые обсудили, как его научные и учебно-методические труды сохраняют свою ценность для нынешнего геодезического образования, а его теоретические идеи находят развитие в решении современных геодезических задач. Прошедшее мероприятие подтвердило актуальность научного наследия Юрия Исидоровича и показало устойчивое развитие созданной им научной школы.



Фото книг из личного архива авторов