

ISSN 0536-101X
e-ISSN 2618-7299

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ГЕОДЕЗИЯ
И АЭРОФОТОСЪЕМКА

Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying

69 • 01 • 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 • 01 • 2025

Москва, Россия

Moscow, Russia

О журнале

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

About the Journal

FULL INTERNATIONAL TITLE	Proceedings of Higher Education Institutions. Geodesy and Aerophotosurveying (Izvestiâ vysših učebnyh zavedenij. Geodeziâ i aèrofotos"emka)
SHORT INTERNATIONAL TITLE	Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying
SUBJECT AREAS	earth aerospace survey, geodesy, geoinformatics, land management, cadastre, cartography, land monitoring, photogrammetry, optical and optoelectronic devices and complexes
FREQUENCY	bimonthly (every two months)
LANGUAGES	Russian, English
FOUNDED AND PUBLISHED BY	Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)
CITY, COUNTRY	Moscow, Russia
FOUNDED IN	1957
ISSN	0536-101X
E-ISSN	2618-7299
WEBSITE	www.miigaik.ru/gia
SUBSCRIPTION	catalogue subscription number – 70365 (Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation)
INDEXED IN	Higher Attestation Commission list of reviewed scientific journals, Russian Science Citation Index based on the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU – RSCI (Web of Science group)
LICENSE	the material is published on the basis of Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Редакционная коллегия

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

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

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

Подписано в печать 28.02.2025.
Гарнитура Source Serif Pro.
Формат 60×90^{1/8}.
Бумага мелованная.
Печать цифровая.
Объем 18.5 усл. печ. л.
Тираж 500 экз.
Заказ № 7. 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
	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
	Alexander P. Karpik	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Wolfgang Kresse	Professor, Doctor of Engineering; Germany
	Vasiliy A. Malinnikov	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Elena M. Mazurova	Doctor of Engineering; Russia
	Sergey S. Nekhin	Doctor of Engineering; Russia
	Viktor B. Nepoklonov	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Yuri M. Neyman	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Jürgen Oberst	Professor, Doctor of Engineering; Germany
	José Joaquín Vila-Ortega	PhD in Engineering; Colombia
	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
	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 28.02.2025.
Font Source Serif Pro.
Format 60×90¹/_s.
Coated paper.
Digital print.
18.5 printed sheet.
500 copies. Order No. 7.

Editorial Office
Department of Editorial
and Publishing Activities
and Scientometrics

Printed by PrintSide
printside.ru

ХРОНИКИ	85 лет Виктору Петровичу Савиных	8
ГЕОДЕЗИЯ	Яковлев Н.Н. Методика калибровки высокоточного радиовысотомера (альтиметра) с использованием геоинформационного мониторинга	10
АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ	Чинь Куок Хюи, Малинников В.А. Моделирование вероятности изменений в землепользовании под воздействием природных факторов на основе искусственной модели многослойных персептронов	23
	Лозовая С.Ю., Поляков А.И., Ширина Н.В., Рыжакова Н.С. Применение генеративного искусственного интеллекта для повышения качества результатов аэрофотосъемки при проведении комплексных кадастровых работ	36
	Скрышница Т.Н., Уколова А.В., Дрыга Д.О. К вопросу о точности и источниках ошибок, возникающих при моделировании человеческого лица стереофотограмметрическим методом	50
ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ	Абдульмянов С.Н., Хадбаатар С., Семеренко И.К. Визуализация данных о морфологических особенностях кольцевых структур на примере метеоритного кратера Цэнхэр (Гобийский Алтай)	64
	Радченко Л.К. Трансформация познавательной концепции картографии	90
ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ	Кустышева И.Н., Беленко В.В. Исследование взаимоотношений хозяйствующих субъектов на землях и территориях традиционного природопользования в нефтегазодобывающих регионах Крайнего Севера	99
	Аврунев Е.И., Губанищева М.А., Моисеева Н.А. Разработка технологической схемы установления границ приаэродромной территории	115
	Махотлова М.Ш. Анализ современного использования и процессов деградации земель сельскохозяйственного назначения в Кабардино-Балкарской Республике	127
ХРОНИКИ	Александр Петрович Карпик (12.05.1956 — 05.02.2025)	145

CHRONICLE	The 85th anniversary of Viktor P. Savinykh	8
GEODESY	Iakovlev N.N. Calibration methodology of satellite altimeter using geoinformation monitoring	10
EARTH AEROSPACE SURVEY, PHOTOGRAMMETRY	Trinh Quoc Huy, Malinnikov V.A. Modeling the possibility of land use changes under the influence of natural factors based on an artificial model of multilayer perceptrons	23
	Lozovaya S.Yu., Polyakov A.I., Shirina N.V., Ryzhakova N.S. The use of generative artificial intelligence to improve the quality of aerial photography results during complex cadastral works	36
	Skrypitsyna T.N., Ukolova A.V., Dryga D.O. To the question of accuracy and sources of errors appeared at modelling of a human face by stereophotogrammetric method	50
GEOINFORMATICS, CARTOGRAPHY	Abdulmyanov S.N., Khadbaatar S., Semerenko I.K. Visualization of data on the morphological features of ring structures: using the example of the Tsenkher meteorite crater (Gobi Altai)	64
	Radchenko L.K. Transformation of the cognitive concept of cartography	90
LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING	Kustysheva I.N., Belenko V.V. A study of interrelations among economic entities within traditional natural resource use (TNRU) territories in oil and gas producing regions of the Far North	99
	Avrunev E.I., Gubanischeva M.A., Moiseeva N.A. Development of a technological scheme for establishing the boundaries of the aerodrome territory	115
	Makhotlova M.Sh. Analysis of modern use and degradation of agricultural land in the Kabardino-Balkarian Republic	127
CHRONICLE	Alexander P. Karpik (12.05.1956 – 05.02.2025)	145

85 лет

**Виктору
Петровичу
САВИНЫХ**



7 марта 2025 года исполняется 85 лет летчику-космонавту СССР, дважды Герою Советского Союза, полному кавалеру ордена «За заслуги перед Отечеством», кавалеру трех орденов Ленина, ордена Почета, ордена Гагарина, академику РАН, доктору технических наук, профессору, президенту Московского государственного университета геодезии и картографии Виктору Петровичу Савиных.

После окончания с отличием оптико-механического факультета МИИГАиК по специальности «Оптико-электронные приборы» Виктор Петрович в течение 20 лет проработал в НПО «Энергия», пройдя путь от инженера до руководителя комплекса. В декабре 1978 года В.П. Савиных был зачислен в отряд космонавтов в должности космонавта-исследователя. Он выполнил 3 космических полета на орбитальные станции «Салют-6», «Салют-7» и «Мир». В общей сложности он находился в космосе в течение 252 суток 17 часов 37 минут, в открытом космосе — 5 часов.

Особо стоит отметить состоявшийся в 1985 году полет Виктора Петровича Савиных и Владимира Александровича Джанибекова на вышедшую из строя станцию «Салют-7», которая потеряла управление и неуклонно приближалась к Земле, грозя упасть в любой ее точке. По сей день в истории космонавтики этот полет считается самым сложным с технической точки зрения. До этого момента никто и никогда не делал ничего подобного, но экипаж успешно справился с поставленной перед ним задачей, отремонтировал вышедший из строя космический аппарат и благополучно вернулся на Землю.

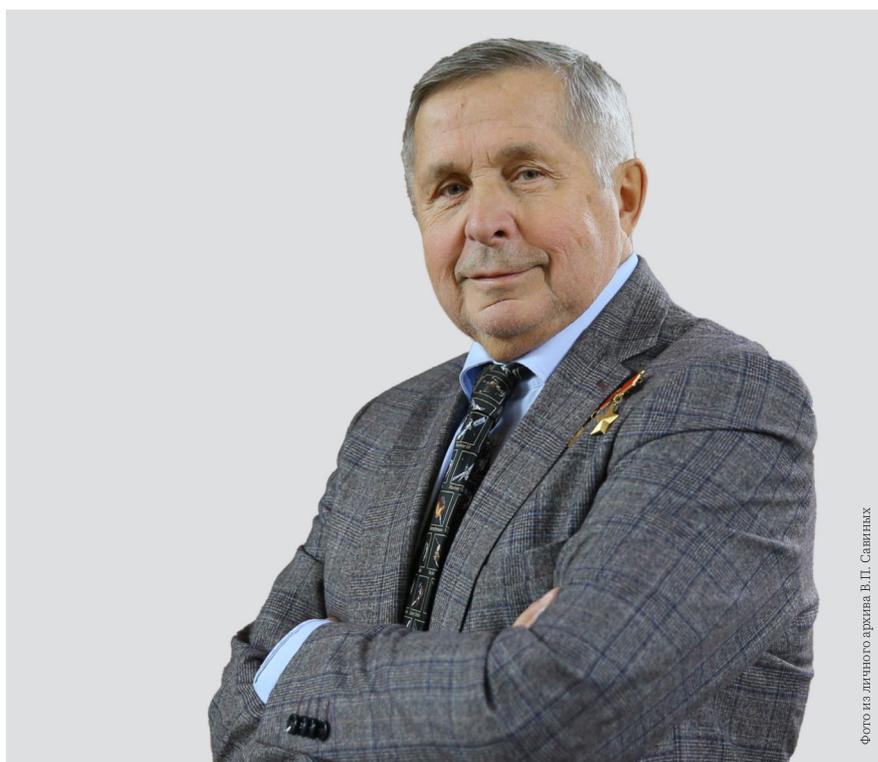
Впоследствии В.П. Савиных возвратился в родной институт, где с 1989 по 2007 год работал ректором. Под его руководством в сложное время экономических реформ МИИГАиК не только сохранил положение ведущего вуза страны, но и укрепил свои позиции, став лидером образования в сфере пространственных данных. С 2007 года Виктор Петрович является президентом МИИГАиК.

В.П. Савиных — известный ученый и исследователь в области разработки методов дистанционного зондирования и использования космических средств в экологических и природно-ресурсных целях. Он является автором множества научных трудов (в том числе монографий), учебников, автором проекта «Космическое кругосветное путешествие», соавтором многих географических атласов, книги «Информационные технологии в системах экологического мониторинга» (в 2006 году получено свидетельство на интеллектуальный продукт). Им опубликовано более 350 научных работ. В 2008 году под его редакцией было издано уникальное научно-справочное издание — «Энциклопедия по геодезии, картографии, геоинформатике и кадастру». Виктор Петрович является главным редактором научного журнала «Известия вузов “Геодезия и аэрофотосъемка”», членом редколлегии научного журнала «Геодезия и картография», членом ученого совета Русского географического общества.

По совокупности работ в 2006 году В.П. Савиных был избран членом-корреспондентом РАН, а в 2019 году стал академиком РАН. В.П. Савиных награжден медалью «За заслуги в освоении космоса», является лауреатом государственных премий СССР и Российской Федерации. Общественное значение В.П. Савиных как ответственного и уважаемого гражданина выразилось в избрании его членом Общественной палаты при Президенте РФ.

Поздравляем Виктора Петровича с грядущим юбилеем, желаем благополучия, здоровья и новых достижений! ■

более
6065
часов в космосе



50-й космонавт СССР

100-й космонавт планеты

18
лет ректор
МИИГАиК



Методика калибровки высокоточного радиовысотомера (альтиметра) с использованием геоинформационного мониторинга

Н.Н. Яковлев¹ 

¹ Научно-исследовательский и проектный институт градостроительства,
Реутов, Россия

 yakovlevnn@niipi.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Яковлев Н.Н. Методика калибровки высокоточного радиовысотомера (альтиметра) с использованием геоинформационного мониторинга // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 1. С. 10–22. DOI:10.30533/GiA-2025-001.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА гравитационное поле, космическая геодезическая система, спутниковый альтиметр, внешняя калибровка, высота поверхности моря

АННОТАЦИЯ Высокая точность альтиметрических измерений космических геодезических систем достигается путем учета погрешностей распространения электромагнитного сигнала в атмосфере, инструментальных погрешностей альтиметра и погрешностей, обусловленных динамикой водной поверхности. Важным мероприятием, позволяющим оценить результаты измерений, является калибровка альтиметра. Многолетний опыт эксплуатации отечественных и зарубежных альтиметрических миссий показывает, что калибровка выступает одним из ключевых условий надежной оценки параметров гравитационного поля Земли. В статье рассмотрены вопросы совершенствования существующего методического аппарата калибровки альтиметра путем интеграции методов использования глобальных навигационных спутниковых систем с современными достижениями в области геоинформатики. Целью совершенствования методики является минимизация влияния трудно учитываемого фактора — динамической топографии морской поверхности — на точность определения калибровочной поправки. В работе предложены варианты модернизации средств технического обеспечения калибровки, уточнена стратегия набора измерительной информации, разработанная ранее. Обоснован состав и характер размещения измерительных систем на морской поверхности. Разработаны основные положения определения эталонной высоты морской поверхности с использованием геоинформационного мониторинга. В работе рассмотрен алгоритм геоинформационного моделирования фактической морской поверхности с использованием полиномиального сглаживания. Приведены результаты экспериментальных исследований разработанной методики.

1 Введение

При калибровке высокоточного радиовысотомера (ВРВ) космической геодезической системы (КГС) современными средствами возникает необходимость сбора, хранения, обработки и оценки пространственных данных различного рода, а также их трансформаций во времени.

В общем виде калибровка ВРВ состоит из нескольких этапов обработки пространственных данных [1–5]. В первую очередь успех проведения калибровки опирается на результаты обоснования и выбора морской акватории для проведения измерений, а также выбора мест размещения береговых измерительных систем (ИС) полигона калибровки ВРВ, вспомогательных технических средств и их геодезической привязки. Вторым этапом обработки пространственных данных становится выполнение баллистических расчетов прохождения космического аппарата (КА) геодезического назначения над морской акваторией, определяющих предварительное положение подспутниковых точек, в которых выполняются измерения превышения КА над морской поверхностью. Следующим этапом является определение оптимальной конфигурации размещения ИС на морской поверхности для получения измерительной информации на основании выполненных баллистических расчетов прохождения КА геодезического назначения над морской акваторией. Последний этап по порядку, но не последний по объему пространственных данных — это обработка измерительной информации с целью определения эталонного значения высоты мгновенной средней поверхности моря (МСПМ) для расчета калибровочной поправки.

На сегодняшний день наиболее сложным с технической точки зрения из всех перечисленных представляется последний этап — этап определения эталонной высоты МСПМ. Сложность определений высоты МСПМ объясняется труднопредсказуемым поведением морской поверхности, обусловленным влиянием возмущающих факторов. К числу последних следует отнести влияние вертикальных и горизонтальных течений, атмосферы (ветровое воздействие и атмосферное давление), изменение солёности морской воды, а также приливы и отливы¹. Экспериментальные исследования калибровки ВРВ отечественной КГС с использованием измерений глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) показали, что погрешность определения калибровочной поправки значительным образом зависит от аномалии динамической топографии² морской поверхности [6].

Предметом исследований, рассмотренных в данной статье, является совершенствование методики калибровки ВРВ в части учета влияния динамической топографии с использованием одного из инструментов геоинформатики — геоинформационного мониторинга.

2 Материалы и методы

2.1 Геоинформационная модель физической морской поверхности

Физическая морская поверхность — сложная динамическая форма, образуемая влиянием гравитационного поля Земли и возмущающих факторов. Условную

¹ Деев М.Г. Уровень как индикатор изменений состояния Мирового океана. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://geo.1sept.ru/view_article.php?ID=201000604 (дата обращения: 25.09.2023).

² При проведении калибровки ВРВ под аномалией динамической топографии понимается величина отклонения физической поверхности моря от его среднего положения (средней динамической топографии), определенного по результатам многолетних наблюдений.

сферическую поверхность с центром в центре масс Земли, проведенную в границах заданной акватории на момент измерения ВРВ так, что объем гребней волн над поверхностью равен объему впадин между гребнями под ней, принято называть мгновенной средней поверхностью моря. Радарный метод измерения высоты физической морской поверхности, применяемый в спутниковой альтиметрии, позволяет по единичному измерению ВРВ получить интегральное значение высоты МСПМ на заданной площади с учетом объема гребней волн и объема впадин между гребнями под ней. Совершенно очевидно, что в каждой подспутниковой точке получить значение высоты МСПМ иными, отличными от радарного, способами не представляется возможным. Существующая методика калибровки ВРВ [6] предполагает измерение высоты МСПМ с использованием эталонной ИС вблизи подспутниковой трассы и редукцию измерений в подспутниковые точки с использованием модели геоида и средней динамической топографии. Экспериментальные исследования показали, что при использовании методики значения калибровочной поправки могут содержать систематические погрешности, величина которых зависит от величины аномалий динамической топографии, их пространственного распределения и взаимного пространственного положения точек размещения эталонных ИС и подспутниковых точек.

Для устранения влияния аномалий динамической топографии предлагается определение эталонной высоты МСПМ при калибровке ВРВ выполнять с использованием информационной модели морской поверхности. Работа с информационной моделью позволит получить результаты анализа или прогноз изменения значения какого-либо параметра МСПМ, если из-за обстоятельств это невозможно сделать иными способами.

Под информационной моделью в работе понимается формализованное отображение существующего объекта или системы объектов с помощью совокупности взаимосвязанных, идентифицируемых, информационно определяемых параметров, отображающих наиболее существенные свойства, связи и отношения объекта моделирования [7]. В ситуации с моделированием МСПМ целесообразно воспользоваться особой формой информационной модели — геоинформационной моделью. Спецификой геоинформационной модели является ее построение на основе анализа пространственных данных и связей между ними, реализуемых с использованием геоинформационных систем (ГИС), баз пространственных данных (БД) и систем управления этими базами данных (СУБД). В процессе формирования геоинформационной модели необходимо выполнить сбор, обработку и интеграцию пространственных данных различного вида, полученных на заданном интервале времени, их пространственную локализацию с последующей визуализацией и возможностью пространственного анализа. В научной литературе интегрированная технология, объединяющая разные методы и механизмы сбора, обработки и анализа пространственных данных, получила название геоинформационного мониторинга [8].

В рамках проводимых исследований геоинформационный мониторинг следует рассматривать как технологию наблюдения за динамикой физической морской поверхности с целью описания ее пространственного положения в заданное время. Такой подход позволит наиболее полно получить значение высоты в любой точке этой поверхности.

Для построения геоинформационной модели физической морской поверхности представляется целесообразным воспользоваться подходом, описанным в [6] и базирующимся на следующих положениях:

- в течение времени, соответствующего единичному измерению превышения ВРВ, физическую морскую поверхность можно признать статической, причем как в отношении долгопериодических (например, приливные эффекты), так и короткопериодических (ветровое волнение) возмущающих факторов;
- для построения геоинформационной модели статической поверхности достаточно получить значения высоты в нескольких точках поверхности с двумя условиями: количество таких точек должно обеспечивать

возможность реализации математического аппарата моделирования поверхности в заданных границах и значения высоты в этих точках не должны быть искажены влиянием короткопериодических возмущающих факторов (гребнями и впадинами волны);

- влияние короткопериодических возмущающих факторов в точках определения высоты может быть устранено путем осреднения параметров волнения, что требует получения достаточного количества измерительной информации.

Геоинформационная модель физической морской поверхности на любой момент времени в пределах интервала измерений представляет собой совокупность значений эталонной высоты в точках размещения ИС и математических зависимостей, позволяющих рассчитать высоту в любой произвольной точке акватории калибровки.

Для построения информационной модели МСПМ в качестве математической зависимости целесообразно использование метода биквадратной сплайн-интерполяции. Это метод интерполяции в трехмерном пространстве, при котором неизвестные значения функций аппроксимируются в искомым точках полиномами второй степени в соответствии с известными значениями в окружающих девяти точках. Предполагается, что искомые точки лежат внутри четырех четырехугольников, граничащих друг с другом двумя ребрами и сформированных девятью известными точками [9]. При этом для определения значения высоты в произвольной точке поверхности, проходящей через девять точек, необходимо определить значения коэффициентов трех полиномов второй степени по одной из осей координат, например x , и одного — по второй оси, y (рис. 1).

Коэффициенты a, b, c для полинома под номером i по оси x находятся, например, из системы уравнений

1 ➤
$$\begin{cases} a_i + b_i x_i + c_i x_i^2 = H_i, \\ a_i + b_i x_{i+3} + c_i x_{i+3}^2 = H_{i+3}, \\ a_i + b_i x_{i+6} + c_i x_{i+6}^2 = H_{i+6}, \end{cases}$$

а коэффициенты d, f, g для полинома по оси y вычисляются из системы уравнений

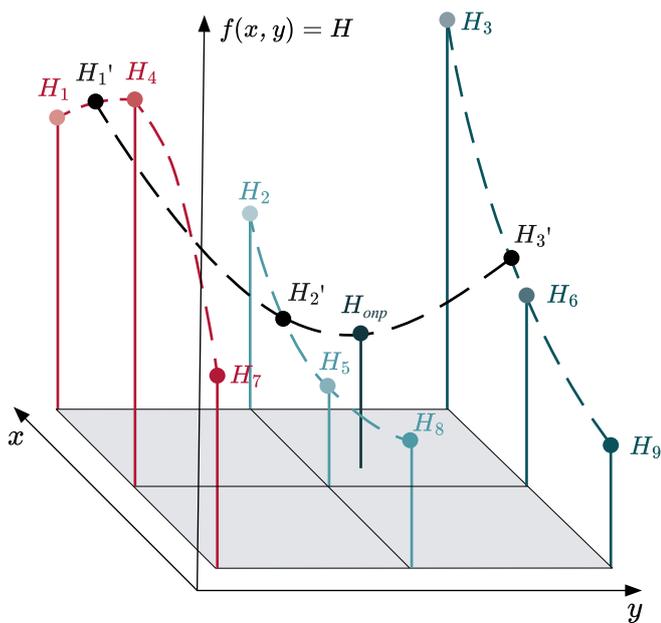
2 ➤
$$\begin{cases} d + fy + gy^2 = H_1', \\ d + fy + gy^2 = H_2', \\ d + fy + gy^2 = H_3', \end{cases}$$

где x, y — плоские прямоугольные координаты точек с известными значениями высот; H — значение высоты МСПМ в точке в соответствии со схемой на рис. 1.

Геоинформационная модель МСПМ, построенная на заданный момент времени с использованием биквадратной сплайн-интерполяции, позволяет выполнить расчет высоты МСПМ в узлах регулярной сетки с заданной плотностью или в заданной точке и является описанием поверхности, которая служит отражающей поверхностью для сигнала ВРВ. При этом расчет высоты МСПМ в подспутниковой точке в пределах границ информационной модели свободен от влияния погрешностей модели геоида и динамической топографии. Создание геоинформационной модели физической морской поверхности методом сплайн-интерполяции может быть реализовано с использованием ГИС, БД и СУБД.

Условия создания геоинформационной модели, описанные выше, требуют пересмотра стратегии набора измерительной информации, рассмотренной в [6], в части формирования массивов измерительной информации.

Рис. 1 
Схема биквадратной сплайн-интерполяции
Fig. 1
Scheme of biquadratic spline interpolation



2.2 Формирование массивов измерительной информации

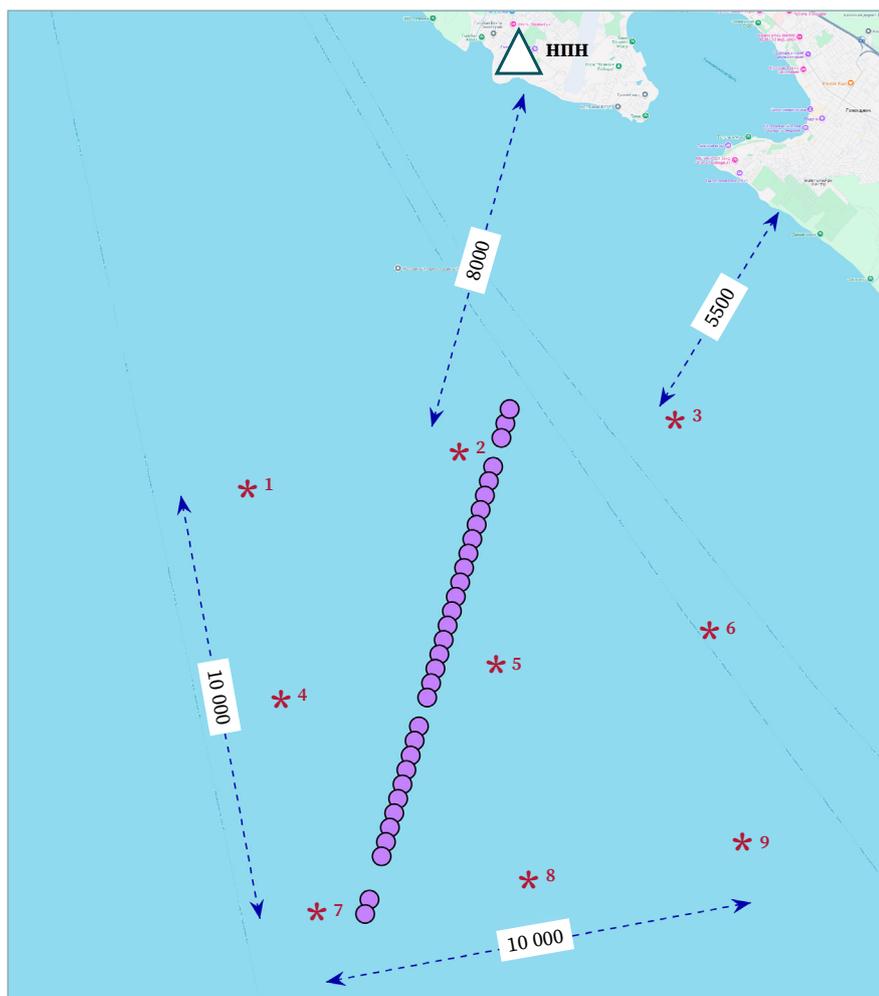
Из основных положений биквадратной сплайн-интерполяции следует, что для калибровки ВРВ методом геоинформационного мониторинга в морской акватории должна быть развернута сеть из девяти волномерных буев (ВБ), оснащенных ГНСС-приемниками, в виде квадрата (рис. 2) вблизи наземного пункта наблюдений (НПН). С использованием вспомогательных якорных средств обеспечивается условно-статическое положение ВБ (дрейф в ограниченном пространстве). Для наиболее полного учета возмущающих факторов набор измерительной информации начинается не позднее чем за час и прекращается не ранее чем через час после прохождения КА геодезического назначения или группы таких КА.

Следует отметить, что скорость КА геодезического назначения³, оборудованного ВРВ, на орбите с высотой порядка 1000 км составляет около 6,5 км/с (в проекции на поверхность моря). Следовательно, для акватории протяженностью порядка 10–12 км разность времени между первым и последним измерением не будет превышать 2 с. Для расчета калибровочной поправки целесообразно использовать измерения ВРВ с частотой 20 Гц и значение калибровочной поправки определить по 20–40 измерениям.

Формирование массивов измерительной информации ВБ осуществляется в соответствии со следующими положениями. В первую очередь выполняется

Рис. 2 
 Схема размещения ВБ
Fig. 2
 Wave buoy location diagram

- Условные обозначения**
- * Место размещения ВБ
 - Подспутниковая точка
 - 3 Номер ВБ



³ Космический аппарат «ГЕО-ИК-2». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iss-reshetnev.ru/spacescraft/spacescraft-geodesy/geo-ik2> (дата обращения: 23.08.2024).

определение интервала осреднения высокочастотных колебаний для ВБ, расположенного в центре сети. Осреднение колебаний осуществляется на начальном интервале сглаживания, равном 30 с. Серединой начального интервала сглаживания выбирается среднее время сеанса, которое вычисляется как среднее арифметическое времени первого и последнего измерения ВРВ в границах сети ВБ. На начальном интервале определяется высота МСПМ, равная среднему арифметическому высот ВБ на интервале, а также определяются средние значения координат положения ВБ (x и y) в плоской прямоугольной системе координат (например, ГСК-2011). Далее анализируется изменение высоты МСПМ с увеличением длины начального интервала осреднения с заданным смещением, равным 1 с. влево и вправо от выбранного среднего времени сеанса. При изменении высоты МСПМ меньше заданной величины фиксируется оптимальный интервал осреднения. На оптимальном интервале осреднения выполняется расчет высоты МСПМ для каждого ВБ на всем интервале измерений.

Физически для каждого ВБ создаются свои массивы средних значений высоты МСПМ, но при этом номера интервалов осреднения и время их начала должны совпадать (одинаковый номер интервала осреднения для каждого ВБ относится к одному и тому же среднему времени сеанса). Полученные массивы измерительной информации ВБ могут быть использованы для калибровки другого КА КГС в случае размещения его на калибровочном типе орбиты с учетом разницы времени прохождения над акваторией калибровки между КА.

2.3 Расчет калибровочной поправки

Расчет калибровочной поправки и определение неоднозначности выполняется в соответствии с положениями, указанными в [6]. При этом расчет эталонного значения высоты в каждой подспутниковой точке ($H_{\text{МСПМ-ЭТ}}$) выполняется с использованием геоинформационной модели МСПМ.

$$3 \quad \Delta h = H_{\text{МСПМ-КА}} - H_{\text{МСПМ-ЭТ}},$$

где $H_{\text{МСПМ-КА}}$ — высота МСПМ в подспутниковой точке по измерениям ВРВ.

В качестве окончательного значения калибровочной поправки принимают среднее арифметическое значение по результатам вычисления калибровочной поправки в каждой подспутниковой точке по формуле

$$4 \quad \Delta h = \overline{\Delta h_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i.$$

Стандартную неопределенность вычисляют по формуле средней квадратической погрешности среднего арифметического значения

$$5 \quad m_{\Delta h} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\Delta h_i - \overline{\Delta h_i} \right)^2}.$$

3 Результаты

3.1 Построение геоинформационной модели

Экспериментальные исследования проведены путем геоинформационного моделирования калибровки ВРВ с использованием измерительной и вспомогательной информации калибровочного сеанса ВРВ отечественной КГС от 19 октября 2021 года (далее — калибровочного сеанса), описанного в [6]. В ходе калибровочного сеанса выполнен набор измерительной информации с использованием

Рис. 3 
 Схема калибровочного сеанса
Fig. 3
 Calibration session diagram

Условные обозначения

-  Положение ВБ
-  Подспутниковая точка
-  Базовый приемник



четырёх ВБ, размещенных в морской акватории вдоль подспутниковой трассы КА геодезического назначения отечественной КГС (рис. 3).

Допуская, что направление подспутниковой трассы совпадает с направлением градиента динамической топографии в границах морской акватории, мы можем утверждать, что вертикальный профиль, полученный подспутниковой трассой, наилучшим образом описывает возмущение морской поверхности. Иными словами, полученный профиль является поперечным срезом «волны» морской поверхности, образованной средне- и долгопериодическими возмущающими факторами. Значительное возмущение фактической морской поверхности от геоида вблизи северо-восточного берега Черного моря полностью подтверждается профилем МСПМ, полученным по измерениям ВРВ, и другими научными исследованиями [10].

Моделирование выполнено в два этапа.

Первый этап включал:

- расчет высоты МСПМ в точках на подспутниковой трассе по измерениям реальных ВБ;
- определение коэффициентов полинома второй степени, описывающего профиль морской поверхности вдоль подспутниковой трассы.

Второй этап подразумевал:

- расчет высоты МСПМ в проекциях положения ВБ на подспутниковую трассу с использованием описывающего полинома второй степени;
- редукцию высоты МСПМ в точки моделируемой сети ВБ.

В ходе калибровочного сеанса отклонение положения ВБ от подспутниковой трассы составило от 1,5 до 4,5 км. Для построения математической модели профиля целесообразно воспользоваться правилами редукции высоты МСПМ в заданную точку с использованием цифровой модели геоида и модели средней динамической топографии [6].

Рис. 4 

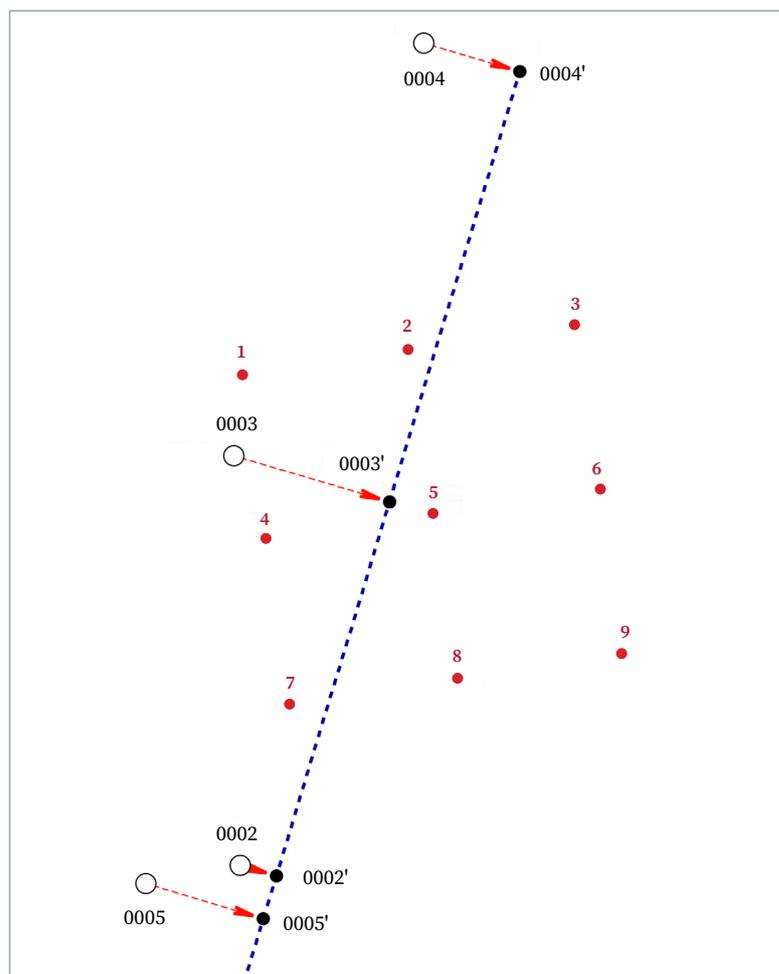
Схема первого этапа моделирования

Fig. 4

Scheme of the first stage of modeling

Условные обозначения

-  Точка размещения ВБ (калибровочный сеанс)
-  Точка размещения ВБ (модель)
-  Точки редукции на подспутниковую трассу
-  Подспутниковая трасса



При проведении эксперимента использовались:

- цифровая модель геоида EGM2008 в формате *.MTW⁴;
- цифровая модель средней динамической топографической поверхности Черного моря CMEMS_2020_BLK_MDT в формате *.MTW⁵.

Работы по расчету величин с использованием цифровых моделей выполнены в ГИС «Карта 2011». Обработка ИИ ВРВ и расчет высоты МСПМ в подспутниковых точках выполнены АО «НПК „СПП“».

Редукция высоты МСПМ выполняется в точки, образованные пересечением подспутниковой трассы и нормалью к ней, проходящей через точку расположения каждого ВБ (рис. 4). При этом понимается, что редукция осуществляется перпендикулярно градиенту динамической топографии, следовательно, погрешностью, обусловленной динамической топографией, можно пренебречь.

Для каждой точки на подспутниковой трассе, в которую выполнена редукция высоты, рассчитывается ее удаление от условного начала. В качестве условного начала принимается точка проекции положения ВБ 0004 на подспутниковую трассу (0004'). По высотам в четырех точках (0004', 0003', 0002', 0005') и расстоянию от условного начала вычисляются коэффициенты полинома второй степени, описывающего профиль МСПМ.

На втором этапе с использованием полученного полинома второй степени выполняется расчет высоты в точках на подспутниковой трассе (1'-9'),

4 Модель геоида EGM2008. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://gisinfo.ru/download_map?id=127 (дата обращения: 22.05.2024).

5 Модель средней динамической топографической поверхности Черного моря CMEMS_2020_BLK_MDT. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/SEALEVEL_BLK_PHY_MDT_L4_STATIC_008_067/DATA-ACCESS (дата обращения: 22.05.2024).

Рис. 5 ➔

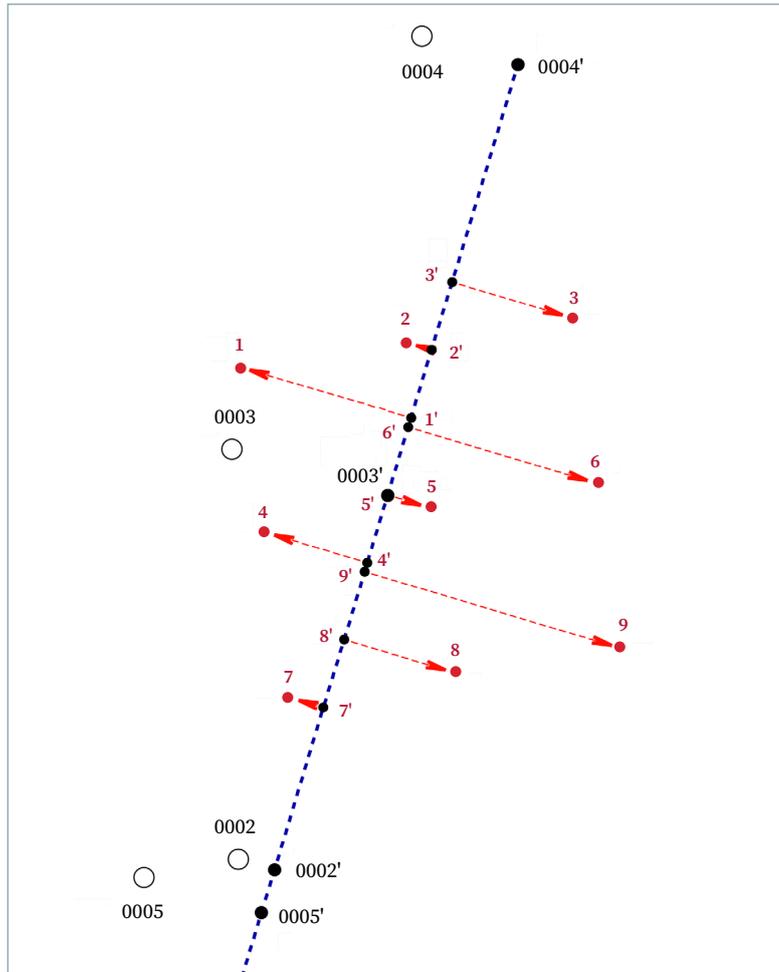
Схема второго этапа моделирования

Fig. 5

Scheme of the second stage of modeling

Условные обозначения

- Точка размещения ВВ (калибровочный сеанс)
- Точка размещения ВВ (модель)
- Точки редукции на подспутниковую трассу
- Подспутниковая трасса



образованных проекциями точек размещения ВВ моделируемой сети, и последующая ее редукция в точки размещения ВВ моделируемой сети (рис. 5).

Расчет калибровочной поправки выполнялся двумя способами. Первый способ подразумевает вычисление разности высоты МСПМ, полученной из измерений ВРВ, и эталонной высоты МСПМ, полученной из модели, в той же подспутниковой точке (формат сеанса калибровки — «Модель»). Второй способ реализуется с помощью методики калибровки ВРВ с использованием ГНСС, рассмотренной в [6] (формат сеанса — «Одиночный ВВ»). При этом в качестве измерений одиночного ВВ принимается значение высоты МСПМ, полученной на подспутниковой трассе в результате моделирования (точка 0003'). Выбранный подход позволит оценить абсолютное значение погрешностей калибровки, обусловленных влиянием аномалий динамической топографии.

3.2 Результаты эксперимента

Результаты эксперимента по определению калибровочной поправки ВРВ отечественной КГС представлены в табл. 1.

Таблица 1 ➔

Результаты эксперимента по калибровке ВРВ отечественной КГС

Table 1

Results of experimental calibration of the GEO-ИК-2 altimeter

Формат сеанса калибровки	Калибровочная поправка (Δh), м	Стандартная неопределенность, ($m_{\Delta h}$), м
Одиночный ВВ	0,084	0,014
Модель	0,060	0,012

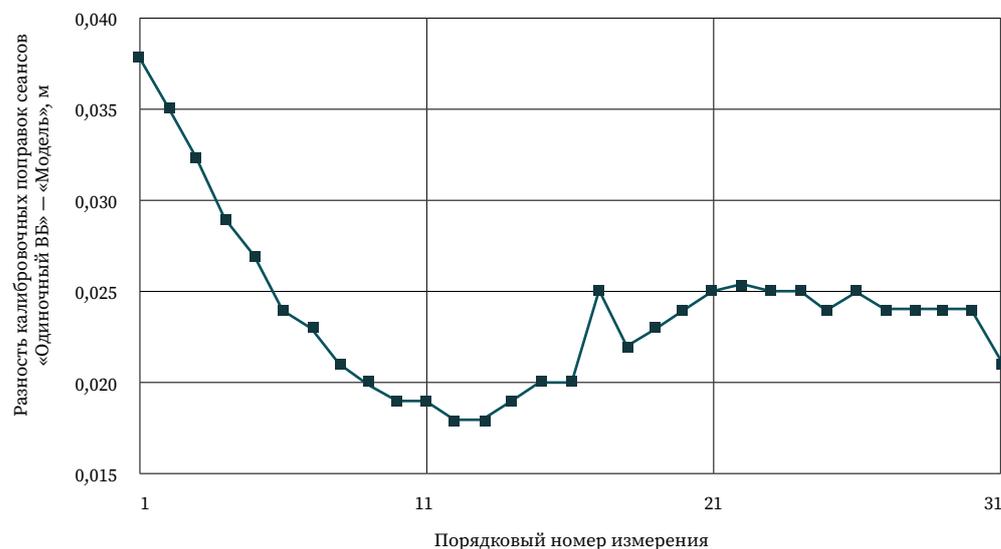
Результаты эксперимента показывают, что применение геоинформационной модели МСПМ при расчете калибровочной поправки позволяет повысить точность ее определения в отношении как правильности, так и прецизионности результата. При этом следует отметить, что погрешность определения калибровочной поправки, влияющая на правильность результата, может составлять более 30 % от величины самой поправки в случае отказа от применения геоинформационной модели. Незначительное изменение прецизионности результатов, полученных при проведении калибровочных сеансов различного формата, может быть объяснено большим количеством измерений (более 30), использованных для расчета калибровочной поправки.

4 Обсуждение

Особый интерес в рамках исследований представляет анализ разностей значений калибровочных поправок в подспутниковых точках, полученных при различных форматах сеанса измерений: «Модель» и «Одиночный ВБ». Результаты анализа представлены на рис. 6. Минимальная разность между значениями калибровочных поправок отмечена в подспутниковой точке, располагающейся вблизи точки 0003', в которой имитировались измерения одиночного ВБ: она составила 0,018 м. По мере удаления подспутниковых точек от одиночного ВБ разность значений калибровочной поправки ВРВ увеличивается. Это говорит о том, что кривизна реальной морской поверхности вдоль подспутниковой трассы вследствие влияния возмущающих факторов отличается от кривизны эквипотенциальной поверхности, заданной моделью геоида. При этом применительно к исследуемому сеансу калибровки разность кривизны поверхностей имеет ярко выраженный градиент по направлению к первому по порядку измерению ВРВ – в направлении берега. Предлагаемый метод калибровки ВРВ с использованием геоинформационного мониторинга и построенной с его помощью геоинформационной модели морской поверхности позволяет устранить погрешности калибровки, свойственные другим методам калибровки.

Рис. 6  Распределение разностей калибровочных поправок разных форматов сеанса калибровки

Fig. 6 Distribution of the difference in calibration corrections for different calibration session



5 Выводы

В результате экспериментальных исследований установлено, что применение геоинформационной модели МСПМ приводит к существенному повышению точности (правильности) калибровочной поправки ВРВ за счет устранения влияния динамической топографии морской поверхности.

Проведение регулярных абсолютных внешних калибровок ВРВ отечественной КГС на различных акваториях с использованием существующей [6] и разработанной методик калибровки ВРВ должно стать одним из инструментов, обеспечивающих возможность повышения эффективности задач геодезического обеспечения потребителей национальной системы пространственных данных. Перспективными направлениями исследований в области калибровки ВРВ являются вопросы размещения и технического оснащения перспективных полигонов калибровки ВРВ, разработка технологии относительной калибровки ВРВ.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность АО «НПК „СПП“», АО КБ «Панорама» за участие и содействие в проведении исследований и лично П.Э. Яковенко за поддержку при принятии сложных решений.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Mertikas S., Donlon C., et al. Fifteen Years of Cal/Val Service to Reference Altimetry Missions: Calibration of Satellite Altimetry at the Permanent Facilities in Gavdos and Crete, Greece // *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10. No. 10. P. 1557. DOI:10.3390/rs10101557.
2. Bonnefond P., Exertier P., Laurain O., et al. Corsica: A 20-yr multi-mission absolute altimeter calibration site // *Advances in Space Research*. 2021. Vol. 68. No. 1. P. 1171–1186. DOI:10.1016/j.asr.2019.09.049.
3. Liu Y., Tang J., Zhu J., et al. An improved method of absolute calibration to satellite altimeter: A case study in the Yellow Sea, China // *Acta Oceanologica Sinica*. 2014. Vol. 33. No. 5. P. 103–112. DOI:10.1007/s13131-014-0476-8.
4. Haines B., Desai S.D., Kubitschek D., et al. A brief history of the harvest experiment: 1989–2019 // *Advances in Space Research*. 2021. Vol. 68. No. 2. P. 1161–1170. DOI:10.1016/j.asr.2020.08.013.
5. Zhou B., Watson C., Legresy B., et al. GNSS/INS-equipped buoys for altimetry validation: Lessons learnt and new directions from the Bass Strait Validation Facility // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. No. 18. P. 3001. DOI:10.3390/rs12183001.
6. Яковлев Н.Н. Методика калибровки высокоточного радиовысотомера (альтиметра) с использованием глобальных навигационных спутниковых систем // *Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2024. Т. 68. № 3. С. 8–25. DOI:10.30533/GiA-2024-023.
7. Цветков В.Я. Информационные модели и геоинформационные модели // *Образовательные ресурсы и технологии*. 2016. Т. 4. № 16. С. 114–120. DOI:10.21777/2312-5500-2016-4-114-120.
8. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг // *Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2005. № 5. С. 151–155.
9. Ратнер Е.А., Зайцев А.И., Квасной М.А. Сплайн-интерполяция для построения трехмерных батиметрических моделей при картографировании внутренних водных путей // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. 2020. Т. 12. № 5. С. 894–905. DOI:10.21821/2309-5180-2020-12-5-894-905.
10. Медведев И.П. Дисперсионный анализ колебаний уровня Черного моря в широком диапазоне частот // *Морской гидрофизический журнал*. 2018. Т. 34. № 6. С. 489–500. DOI:10.22449/0233-7584-2018-6-489-500.

АВТОР Яковлев Николай Николаевич

ГАУ МО «НИИПИ градостроительства», Реутов, Россия

 0009-0006-5338-0379

Поступила 02.11.2024. Принята к публикации 21.02.2025. Опубликовано 28.02.2025.



Calibration methodology of satellite altimeter using geoinformation monitoring

Nikolai N. Iakovlev¹ 

¹ Research and Project Institute of Urban Planning, Reutov, Russia
 yakovlevnn@niipi.ru

CITATION Iakovlev NN. Calibration methodology of satellite altimeter using geoinformation monitoring. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(1): 10–22. DOI:10.30533/GiA-2025-001.

KEYWORDS gravitational field, space geodetic system, satellite altimeter, external calibration, sea surface height, geoinformation monitoring

ABSTRACT Satellite altimetry is an effective way to study the Earth's gravity field, the behavior of the World Ocean and to observe climate change. This is facilitated by the global distribution of measurements and their high accuracy. To obtain high-precision altimetry measurements, it is necessary to take into account the errors of a significant number of parameters affected by the state of the atmosphere, the sea surface and internal instrument delays of the altimeter. The residual error after taking into account all error sources is determined using external calibration. Most often, buoys with receivers of global navigation satellite systems are used for external calibration. This article discusses ways to improve the existing altimeter calibration methodology. To improve the calibration, it is proposed to use one of the tools of geoinformatics – geoinformation monitoring. Using geoinformation monitoring to build an information model of the sea surface, it is possible to take into account the influence of the most complex factor – sea surface anomalies or dynamic topography. The article proposes options for changing the number of measuring systems and rules for their application. To implement geoinformation monitoring, a method for constructing a geoinformation model of the sea surface using second-degree polynomials is studied. The results of experimental studies on the calibration of a satellite altimeter using the geoinformation monitoring method are presented.

ACKNOWLEDGEMENTS The author expresses gratitude to JC PRC “PSI”, JC KB “Panorama” for their participation and assistance in conducting research and personally P.E. Yakovenko for support in making difficult decisions.

REFERENCES

1. Mertikas S, Donlon C, et al. Fifteen Years of Cal/Val Service to Reference Altimetry Missions: Calibration of Satellite Altimetry at the Permanent Facilities in Gavdos and Crete, Greece. *Remote Sensing*. 2018;10(10): 1557. DOI:10.3390/rs10101557.
2. Bonnefond P, Exertier P, Laurain O, et al. Corsica: A 20-yr multi-mission absolute altimeter calibration site. *Advances in Space Research*. 2021;68(1): 1171–1186. DOI:10.1016/j.asr.2019.09.049.
3. Liu Y, Tang J, Zhu J, et al. An improved method of absolute calibration to satellite altimeter: A case study in the Yellow Sea, China. *Acta Oceanologica Sinica*. 2014;33(5): 103–112. DOI:10.1007/s13131-014-0476-8.
4. Haines B, Desai SD, Kubitschek D, et al. A brief history of the harvest experiment: 1989–2019. *Advances in Space Research*. 2021;68(2): 1161–1170. DOI:10.1016/j.asr.2020.08.013.
5. Zhou B, Watson C, Legresy B, et al. GNSS/INS-equipped buoys for altimetry validation: Lessons learnt and new directions from the Bass Strait Validation Facility. *Remote Sensing*. 2020;12(18): 3001. DOI:10.3390/rs12183001.
6. Iakovlev NN. Metodika kalibrovki vysokotochnogo radiovysotomera (al'timetra) s ispol'zovaniem global'nyh navigacionnyh sputnikovyh sistem [Methodology for calibrating a satellite altimeter using global navigation satellite systems]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2024;68(3): 8–25. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2024-023.
7. Tsvetkov VYa. Informacionnye modeli i geoinformacionnye modeli [Information models and geographic information models]. *Educational Resources and Technologies*. 2016;4(16): 114–120. (In Russian). DOI: 10.21777/2312-5500-2016-4-114-120.
8. Tsvetkov VYa. Geoinformacionnyj monitoring [Geoinformation monitoring]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2005;5: 151–155. (In Russian).
9. Ratner EA, Zajcev AI, Kvasnoj MA. Splajn-interpoljacija dlja postroenija trehmernyh batimetricheskikh modelej pri kartografirovanii vnutrennih vodnyh putej [Analysis of the accuracy of interpolation methods in the process of bathymetric mapping of inland waterways]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2020;12(5): 894–905. (In Russian). DOI:10.21821/2309-5180-2020-12-5-894-905.
10. Medvedev IP. Dispersionnyj analiz kolebanij urovnja Chernogo morja v shirokom diapazone chastot [Analysis of variance of the Black Sea level oscillations in a wide range of frequencies]. *Physical Oceanography*. 2018;34(6): 489–500. DOI:10.22449/0233-7584-2018-6-489-500.

AUTHOR **Nikolai N. Iakovlev**

Research and Project Institute of Urban Planning, Reutov, Russia

 0009-0006-5338-0379

Submitted: November 02, 2024. Accepted: February 21, 2025. Published: February 28, 2025.



Моделирование вероятности изменений в землепользовании под воздействием природных факторов на основе искусственной модели многослойных перцептронов

Чинь Куок Хюи¹✉, В.А. Малинников¹

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Россия

✉ quochuy9xnb@gmail.com

ЦИТИРОВАНИЕ Чинь Куок Хюи, Малинников В.А. Моделирование вероятности изменений в землепользовании под воздействием природных факторов на основе искусственной модели многослойных перцептронов // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 1. С. 23–35. DOI:10.30533/GiA-2025-002.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА изменение в землепользовании, многослойные перцептроны, искусственные нейронные сети, V Крамера, алгоритм обратного распространения ошибки, природный фактор

АННОТАЦИЯ Искусственные нейронные сети (Artificial Neural Network) — это усовершенствованные алгоритмы распознавания образов, способные извлекать сложные нелинейные зависимости между переменными. В данной статье описано применение искусственных нейронных сетей, в частности нейронных сетей Multi-Layer Perceptron (MLP) из модели Land Change Modeler (LCM), для моделирования вероятности изменений в землепользовании под воздействием природных факторов. В качестве иллюстрации применения этого метода приводится исследование, проведенное в округе Зяотхюи провинции Намдинь (Вьетнам). Данные о состоянии землепользования за период с 2001 по 2013 год были дешифрованы с использованием спутниковых изображений Landsat. Процесс анализа данных проводился с помощью программного обеспечения TerrSet для получения простой нейронной сети MLP, состоящей из входного слоя (3 нейрона), скрытого слоя (7 нейронов) и выходного слоя (2 нейрона). Результаты исследования показывают, что сети MLP работают с высокой надежностью. Общая (со всеми переменными) эффективность (0,6858) и точность (84,29 %) модели значительно превышают допустимые минимальные значения, позволяющие использовать ее для обучения. Результаты исследований показывают, что три фактора, влияющие на изменения в землепользовании, могут быть ранжированы по уменьшению влияния в следующем порядке: почвы, геоморфология и расстояние до береговой линии.

1 Введение

Земля является природным капиталом, определяющим социальную жизнь людей. В последние годы экологические угрозы, такие как изменение климата, опустынивание, вырубка лесов и утрата биоразнообразия, а также изменения в землепользовании и земельном покрове, привлекают внимание экологов [1]. Изменения в землепользовании происходят вследствие взаимодействия социальных и культурных факторов и ресурсов земли и отличаются большей интенсивностью в развивающихся странах. Изменения в землепользовании бывают естественными и антропогенными, вызванными нерациональной эксплуатацией ресурсов. Исследования показали, что изменения в землепользовании и природные условия тесно взаимосвязаны.

Для эффективного управления экосистемами и долгосрочного планирования необходимо моделировать изменения в землепользовании. В последние два десятилетия было разработано множество моделей Land Use Change (LUC), которые помогают управлять земельными ресурсами и оценивать влияние таких изменений на земельные системы [2]. Модели изменений и их анализа в землепользовании особенно важны для развивающихся стран, где имеют место такие изменения, как вырубка лесов, неравномерное освоение земель и деградация пастбищ, усиливающие опустынивание [3]. Использование данных дистанционного зондирования для обнаружения и моделирования LUC способствует лучшему пониманию процессов изменений в землепользовании и предоставляет инструменты для управления ими.

В последние годы эксперты использовали такие модели, как Geographical Model (GEOMOD), Conversion of Land Use and its Effects (CLUE), Land Change Modeler (LCM) и Cellular Automata Markov (CA-Markov), для прогнозирования изменений в землепользовании и планирования. Исследователи часто применяют модель нейронной сети многослойного перцептрона для моделирования процессов LUC в разных регионах. Например, С. Маитхани (S. Maithani) разработал модель на основе искусственных нейронных сетей (Artificial Neural Network — ANN) для предсказания пространственных изменений в городе Сахаранпуре за 1993–2001 годы [4]. Эта модель использовала данные дистанционного зондирования для выявления изменений в землепользовании, ГИС — для подготовки карты городского землепользования, различные входные переменные — для работы нейронной сети. В работе [5] исследователи применили LCM для моделирования деградации и восстановления мексиканских тропических лиственных лесов. Когда восприимчивости к каждому переходу объединяются для составления общей карты потенциальных изменений, использование LCM является более предпочтительным, поскольку выходные данные нейронных сетей способны более адекватно выражать потенциальные изменения для различных типов земельного покрова, чем отдельные вероятности, полученные с помощью метода весов доказательств [5].

LCM представляет собой инструмент, объединяющий анализ и моделирование изменений в землепользовании с природными факторами. Модуль моделирования изменений основан на картах вероятности перехода, вычисляемых с помощью логистической регрессии или ANN. Эта модель эффективно моделирует сложные процессы, сочетая возможности модели цепи Маркова, нейронной сети Multi-Layer Perceptron (MLP) с обучением обратному распространению ошибки, логистической регрессии и многоцелевому распределению земель (Multi-Objective Land Allocation — MOLA) [6]. В своих исследованиях мы показали, что связь каждого типа землепользования с природными факторами можно описать с помощью модели полиномиальной логистической регрессии. Однако результаты были представлены только на статистическом уровне, а не пространственно. Целью данного исследования является определение вероятности изменений в землепользовании на единицу природных условий в пространстве и времени с использованием модели MLP.

2 Материалы и методы

2.1 Переменные исследования

Данные о состоянии землепользования в округе Зяотхюи провинции Намдинь во Вьетнаме за 2001–2013 годы были дешифрированы с использованием спутниковых изображений Landsat и проверены на точность классификации.

Геоморфологические особенности: внешняя часть дамбы — приливные отмели (DM4); внутренняя часть дамбы — современные речные илистые отмели (DM1), современные отложения рек, морей и болот (DM2), смешанная современная речная и морская аккумуляция (DM3), накопление морского песка (DM5), аккумуляция морского песка в результате штормовых заплесков (DM6).

Типы почв: песчаная почва, прибрежные песчаные дюны (Cc) распространены в основном за пределами дамбы, где растут деревья казуарины; почвы низкой и умеренной засоленности (Mi) встречаются на осоковых, соляных полях, участках для аквакультуры; очень соленая почва (Mn) распространена в мангровых лесах и на участках для аквакультуры; аллювиальная почва без ежегодных отложений (Ph), аллювиальная почва с ежегодными отложениями (Phb) и потенциальная щелочная почва (S) часто распределяются по таким типам землепользования, как земли под жилую застройку, земли для выращивания риса.

Расстояние до береговой линии (морская дамба). Береговая линия имеет очень тесную связь с изменениями в землепользовании в прибрежной зоне дельты Красной реки. Кроме того, если допустить, что береговая линия не меняется, связь между изменениями в землепользовании и береговой линией все равно сохранится, поскольку на землепользование в прибрежных зонах большое влияние оказывают засоленность почвы и водный режим, которые зависят от удаленности территории от береговой линии. Расстояние равномерно рассчитывается от морской дамбы с шагом 800 м. На рис. 1 представлены переменные исследования.

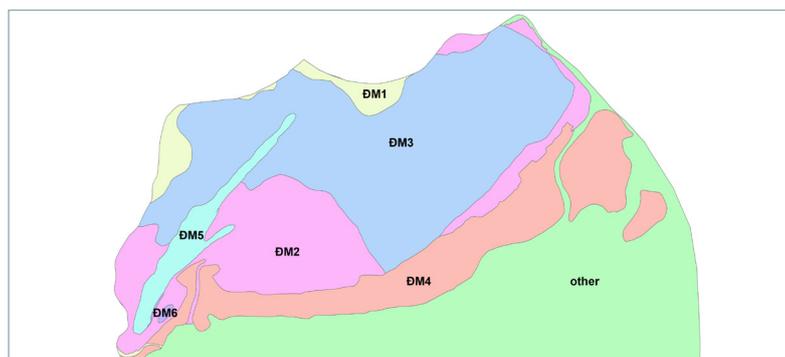
Рис. 1 ✓

Переменные исследования (см. также с. 26)

Fig. 1

Variables involved in the research process (see also p. 26)

Геоморфология / Geomorphology



Условные обозначения

- DM1 — современные речные илистые отмели
- DM2 — современные отложения рек, морей и болот
- DM3 — смешанная современная речная и морская аккумуляция
- DM4 — приливные отмели
- DM5 — накопление морского песка
- DM6 — аккумуляция морского песка в результате штормовых заплесков
- other — водная поверхность

Масштаб 1 : 100 000

0 12 4 6 8 км

Почва / Soil



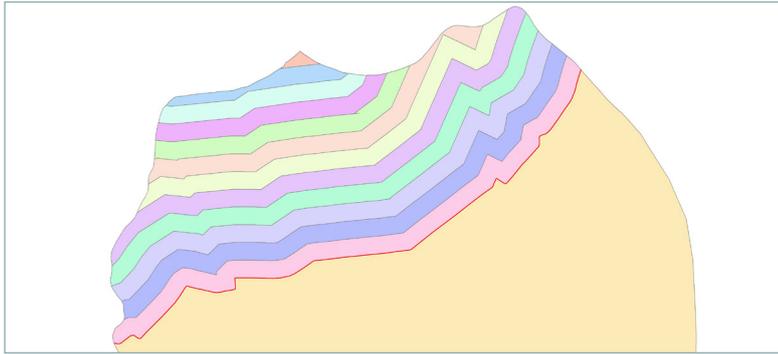
Условные обозначения

- Cc — песчаная почва, прибрежные песчаные дюны
- Mi — почвы низкой и умеренной засоленности
- Mn — очень соленая почва
- Ph — аллювиальная почва без ежегодных отложений
- Phb — аллювиальная почва с ежегодными отложениями
- S — потенциальная щелочная почва
- other — водная поверхность

Масштаб 1 : 100 000

0 12 4 6 8 км

Расстояние до береговой линии / Distance to the coastline



Условные обозначения

0 м (море)	4800–5600 м
0–800 м	5600–6400 м
800–1600 м	6400–7200 м
1600–2400 м	7200–8000 м
2400–3200 м	8000–8800 м
3200–4000 м	8800–9600 м
4000–4800 м	

Масштаб 1 : 100 000

0 12 4 6 8 км

Состояние землепользования в 2001 г. / Land Use in 2001



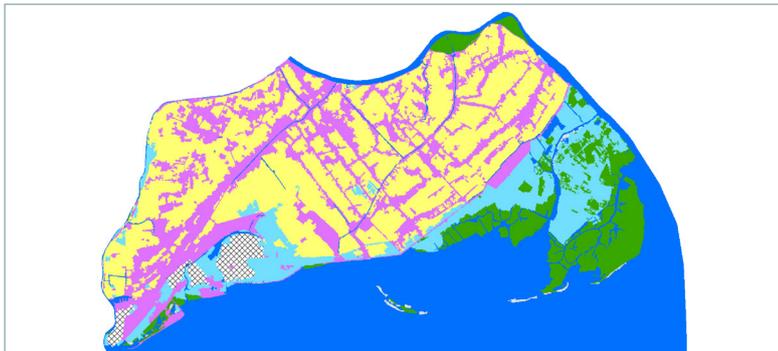
Условные обозначения

жилая застройка
рисовые поля
водная поверхность
земли для аквакультуры
мангровые леса
соляные поля
пустующие земли
осоковые поля

Масштаб 1 : 100 000

0 12 4 6 8 км

Состояние землепользования в 2013 г. / Land Use in 2013



Условные обозначения

жилая застройка
рисовые поля
водная поверхность
земли для аквакультуры
мангровые леса
соляные поля
пустующие земли
осоковые поля

Масштаб 1 : 100 000

0 12 4 6 8 км

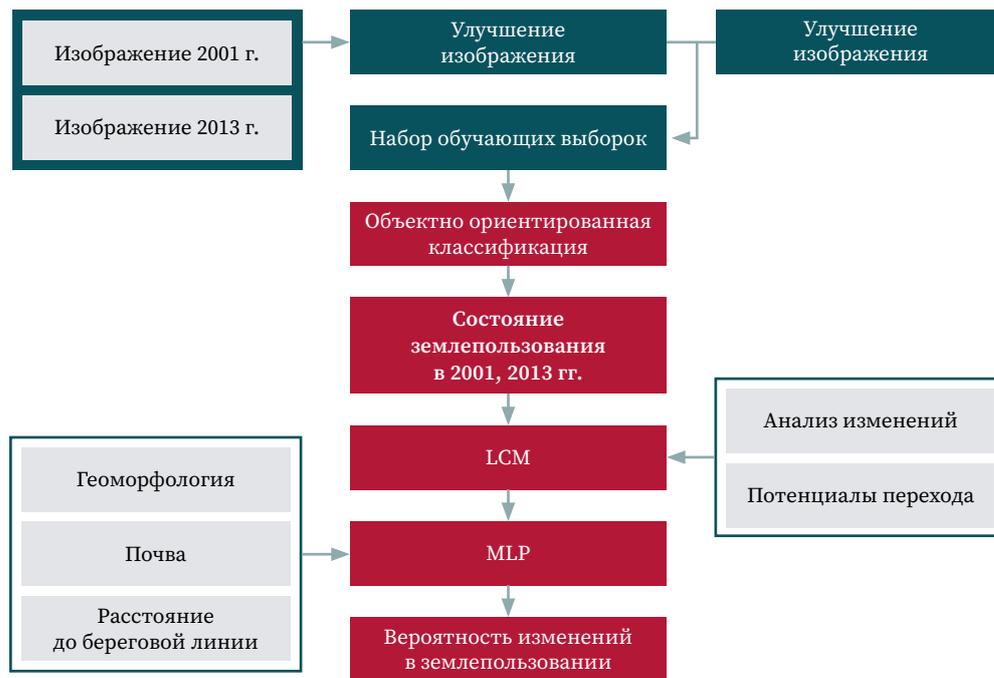
2.2 Методика исследования

На рис. 2 представлена общая схема методики, с помощью которой исследуется вероятность изменений в землепользовании. Конечным результатом исследования является модель изменений в землепользовании, предназначенная для понимания и определения изменений земного покрова, а также для составления требований к охране окружающей среды (если эти изменения вызывают необходимость охраны окружающей среды).

Основные этапы исследования:

1. Определение роли переменных, влияющих на изменения в землепользовании, путем расчета общего коэффициента V Крамера (мера силы связи между двумя номинальными переменными).
2. Подготовка карт переходного потенциала на основе карт изменений в землепользовании предыдущего периода и его эффективных переменных с использованием MLP-ANN.

Рис. 2 
 Общая схема методики исследования вероятности изменений в землепользовании
Fig. 2
 General scheme of the methodology for conducting a study of the possibility of land use changes



Во-первых, роль и вероятность каждой пространственной вариации были оценены в прогнозировании возможных изменений землепользования путем расчета коэффициента V Крамера. Эти изменения использовались для определения корреляции между двумя номинальными переменными или одной номинальной и одной порядковой переменными. Значение этого коэффициента не превышает единицы и рассчитывается по формуле

1 

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{N \min(k-1, l-1)}}$$

где χ^2 — статистика хи-квадрат;
 N — количество выборок;
 k, l — количество строк и столбцов в таблице соответственно.

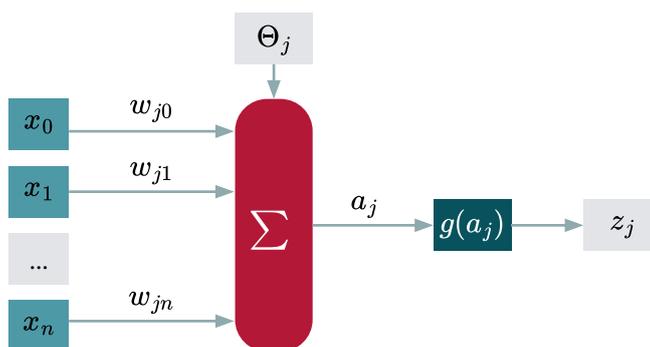
Значения, приближающиеся к 0,3, и выше считаются подходящими для переменной, а значения меньше 0,15 указывают на низкий уровень корреляции [6].

Существует несколько методов моделирования потенциала перехода, но исследования показывают, что ANN является самым эффективным [7]. ANN близки к характеристикам человеческого мозга и часто представляют собой параллельные системы, состоящие из множества элементов, связанных между собой весами переменных [8]. Эти связанные элементы расположены слоями (входной слой, выходной слой, один или несколько промежуточных слоев, называемых скрытыми слоями). Элементы в разных слоях связаны либо абсолютно, либо полуабсолютно. Ссылки между элементами имеют веса. Вес каждой из ссылок можно регулировать. Вес 0 указывает на отсутствие связи, а отрицательный вес указывает на очень слабую связь между двумя элементами. Нейронные сети нелинейны, и их можно понимать как сложную математическую формулу для преобразования входных данных (прошлый статус землепользования, природные факторы) в желаемые выходные данные (например, будущее землепользование)¹ [9]. MLP использует алгоритм обратного распространения ошибки, который широко применяется в моделях нейронных сетей [10, 11]. Модель сети многослойного персептрона показана на рис. 3.

1 Нгуен Т.К. Применение искусственных нейронных сетей в прогнозировании (перевод с вьетнамского языка). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://imech.ac.vn/upload/NewsImage/2021/1/12/ung-dung-mang-noron-nhan-tao-va-o-bai-toan-du-bao-thuy-van.pdf> (дата обращения: 12.08.2024).

Рис. 3 
 Модель сети многослойного персептрона

Fig. 3
 Model of a multilayer perceptron network



Примечание.
 x_i – входы;
 w_{ji} – веса, соответствующие входным данным;
 Θ_j – отклонение;
 a_j – сетевой ввод;
 $g(a_j)$ – передаточная функция (функция активации);
 z_j – выход нейрона

Сетевой ввод рассчитывается по формуле

2 

$$a_j = \sum_{k=0}^n w_{jk}x_k + \theta_j.$$

В нейронной сети есть три типа единиц:

- блоки ввода (принимают сигналы извне);
- блоки вывода (отправляют данные наружу);
- скрытые блоки (hidden units), их входные и выходные сигналы в сети.

3 Результаты

Потенциал перехода от одного вида землепользования к другому был смоделирован в соответствии с переменными, введенными в модель изменения земель, с помощью MLP-ANN. В табл. 1 представлены значения коэффициента Крамера V, которые показывают связь между переменными и классами землепользования. Как можно увидеть, значения коэффициента Крамера V больше 0,3 считаются подходящими для переменной.

Таблица 1 
 Корреляция между естественными переменными и изменениями в землепользовании

Table 1
 Correlation between natural variables and land use changes

Независимая переменная	Значения коэффициента Крамера V
Геоморфология – изменения в землепользовании	0,368
Почва – изменения в землепользовании	0,341
Расстояние до береговой линии – изменения в землепользовании	0,342

Результатом работы ANN является определение вероятности перехода каждой пары изменений в землепользовании. Для каждой пары изменений в землепользовании вероятность преобразования распределяется в соответствии с природными факторами (почва, геоморфология и расстояние до береговой линии). Вероятность перехода имеет значение от 0 до 1. Чем выше значение, тем больше вероятность перехода. При этом значение 0 означает отсутствие вероятности перехода, значение 1 – уверенность в переходе. Ниже рассмотрены пары изменений в землепользовании.

Мангровые леса → земли для аквакультуры

Площадь и распределение мангровых лесов в прибрежной зоне дельты Красной реки в целом и в районе Зяотхой в частности подвержены сильным изменениям. Мангровые леса развиваются естественным образом и в основном распространены на илистых равнинных участках. Однако площадь мангровых лесов стремительно сокращается. Одной из основных причин этого является их уничтожение для земель, используемых в целях аквакультуры. На рис. 4 показано, что наибольшая вероятность перехода (0,64–0,869) возникает на участках

с высокой соленостью (Mn) и приливных отмелях (ДМ4). На участках с песчаной почвой, прибрежными песчаными дюнами очень низкая вероятность преобразования (0–0,097). Этот результат совместим с результатами при запуске модели логистической регрессии с отрицательными коэффициентами регрессии. На остальных территориях вероятность преобразования мангровых лесов в землю для аквакультуры практически отсутствует.

Рис. 4 ➔

Вероятность преобразования мангровых лесов в земли для аквакультуры с учетом природных условий

Fig. 4

Possibility of converting mangrove forests into aquaculture taking into account natural conditions

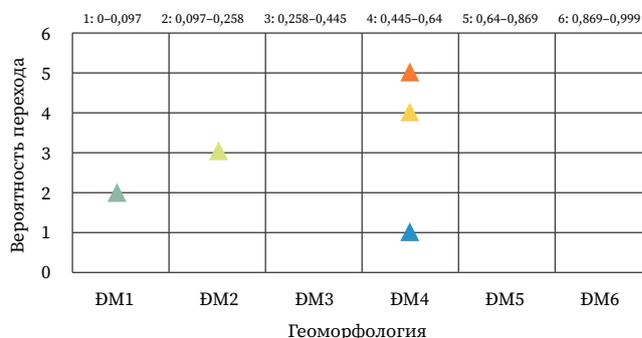
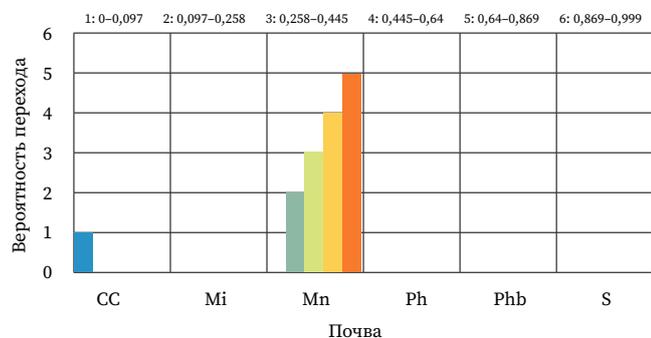
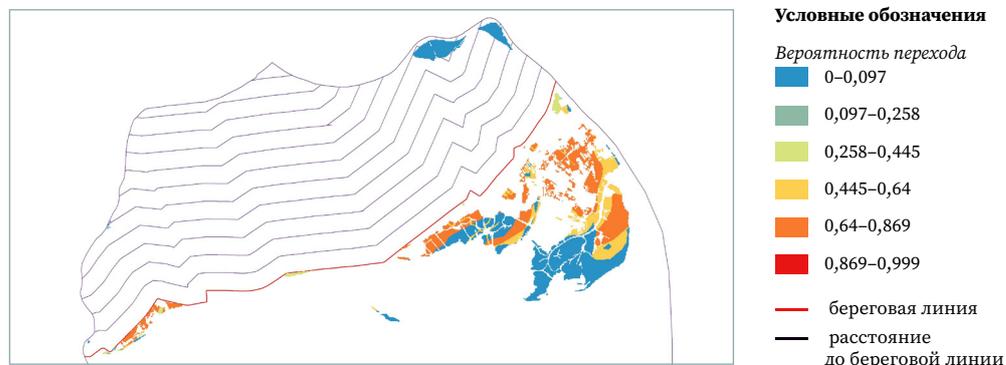


Рис. 5 ✓

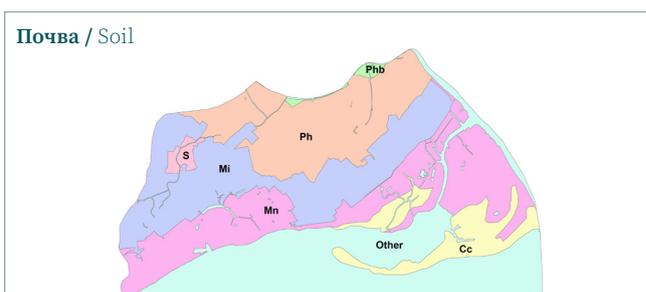
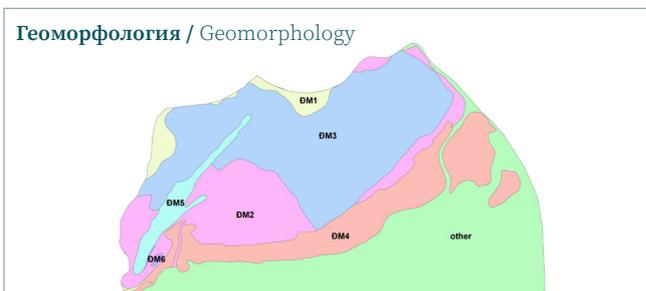
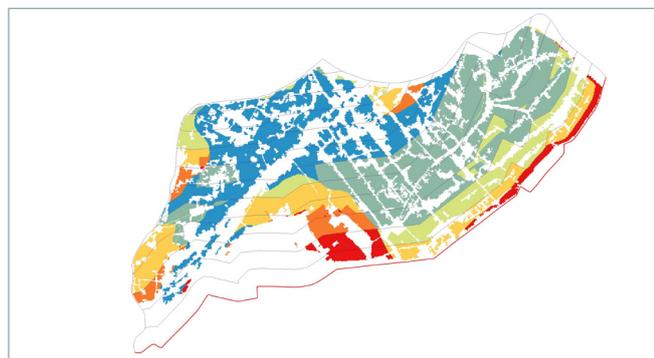
Вероятность преобразования рисовых полей в земли для аквакультуры с учетом природных условий

Fig. 5

Possibility of converting rice lands into aquaculture taking into account natural conditions

Рисовые поля → земли для аквакультуры

Благодаря политике экономического роста многие рисовые поля преобразуют в земли для аквакультуры. Однако этот переход не выходит за границы законов природы. На рис. 5 представлена карта потенциальных изменений в землепользовании, полученная с помощью модели MLP-ANN. Наибольшая вероятность перехода (0,869–0,999) возникает на участках с высокой соленостью (Mn) и современными отложениями рек, морей и болот (ДМ2). Область с меньшей вероятностью преобразования (0,445–0,64) охватывает территории с низкой



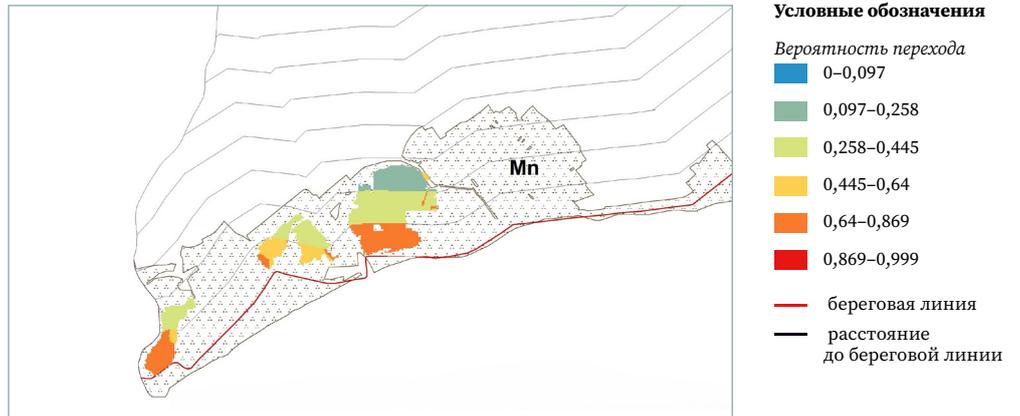
соленостью (Mi) и смешанной современной речной и морской аккумуляцией (DM3), особенно на расстоянии около 3 км от береговой линии. Другие районы не подходят для земель, используемых в целях аквакультуры.

Соляные поля → земли для аквакультуры

Соляные поля превращаются в земли для аквакультуры, поскольку производство соли экономически нецелесообразно. Однако на рис. 6 показано, что вероятность перехода только увеличивается и подходит для территорий с сильно засоленной почвой (0,64–0,869) и прибрежных зон в пределах 800 м до береговой линии (DM1). Чем дальше от береговой линии, тем меньше вероятность перехода.

Рис. 6 Вероятность перехода соляных полей в земли для аквакультуры

Fig. 6 Probability of conversion of salt land to aquaculture



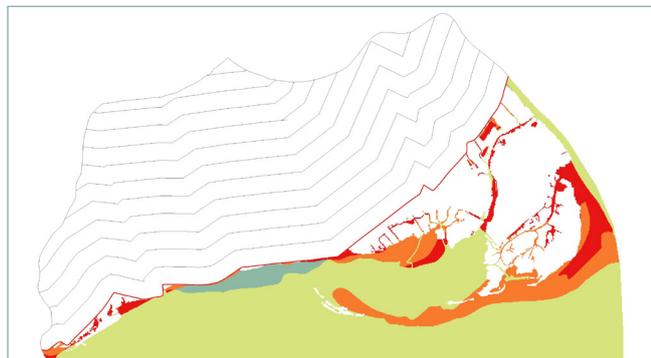
Водная поверхность → мангровые леса

Мангровые леса в округе Зяотхюи претерпели изменения в площади и пространственном распределении. Несмотря на увеличение площади мангровых зарослей благодаря проектам по посадке мангровых деревьев и инновационной политике, изменения по-прежнему лежат в пределах естественных экологических законов и определяются геоморфологическими, почвенными и гидрологическими условиями, подходящими для роста мангровых деревьев.

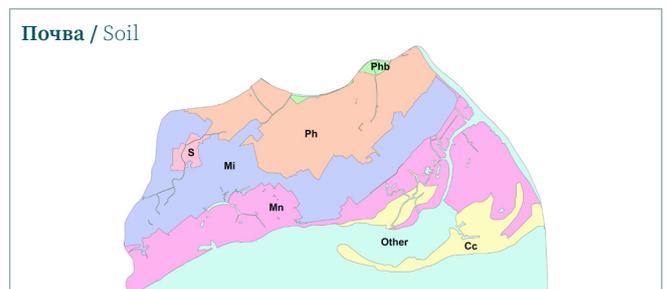
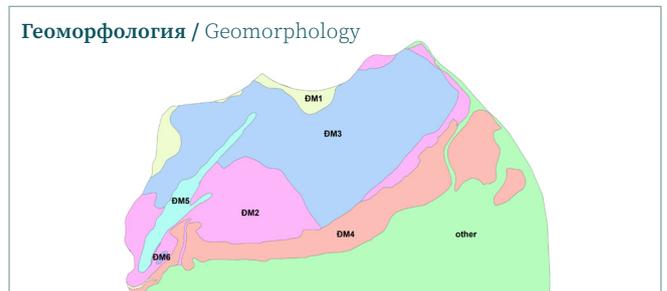
На рис. 7 показана вероятность превращения водной поверхности в мангровый лес. Наибольшая вероятность перехода (0,81–0,896) распространяется на территории за пределами береговой линии, на участки с сильно засоленной почвой (Mn) и приливные отмели (DM4). Вероятность перехода от водной поверхности к мангровым лесам постепенно снижается (0,64–0,81) на участках с песчаной почвой, прибрежных песчаных дюнах (Cc).

Рис. 7 Вероятность перехода водной поверхности в мангровые леса

Fig. 7 Probability of water surface transition into mangrove forests



Условные обозначения
 Вероятность перехода
 0–0,097
 0,097–0,258
 0,258–0,445
 0,445–0,64
 0,64–0,869
 0,869–0,999
 — береговая линия
 — расстояние до береговой линии



4 Обсуждение

Модель MLP-ANN связана с алгоритмом обратного распространения ошибки (backpropagation), при котором проходы вперед и назад продолжаются до тех пор, пока сеть не выучит характеристики всех классов. Поскольку выбор соответствующих переменных повлияет на точность обучения модели, оценка чувствительности модели имеет основополагающее значение перед любым моделированием изменения землепользования. Параметры и производительность модели были протестированы с использованием встроенного в классификатор MLP набора инструментов обработки изображений TerrSet.

Модель обучалась с использованием всех объясняющих переменных (рис. 1) и состояния землепользования в 2001, 2013 гг., затем система повторяет тесты навыков для относительной мощности объясняющих переменных, выборочно удерживая входные данные от выбранных переменных постоянными. Для измерения навыка S (3) были использованы три различных параметра чувствительности: принуждение одной независимой переменной быть постоянной (Forcing a Single Independent Variable to be Constant), принуждение всех независимых переменных, кроме одной, быть постоянными (Forcing All Independent Variables Except One to be Constant), обратный пошаговый механизм постоянного принуждения (Backwards Stepwise Constant Forcing). Статистика навыка варьируется от -1 до 1, где навык 1 указывает на идеальное прогнозирование, навык -1 означает худший, а навык 0 указывает на случайный шанс. Приемлемое значение точности модели должно составлять 80 % и выше, чтобы принять результат обучения [11].

3

$$S = \frac{A - E(A)}{1 - E(A)},$$

где A — измеренная точность;

$E(A)$ — ожидаемая точность.

Ожидаемая точность определяется с использованием количества переходов в подмодели T и количества классов устойчивости P по формуле

4

$$E(A) = \frac{1}{T+P}.$$

Таблица 2

Параметры и результаты работы модели

Table 2

Correlation between natural variables and land use changes

Параметры	Значения
Нейроны входного слоя	3
Нейроны скрытого слоя	7
Нейроны выходного слоя	2
Запрошенные образцы по классу	5146
Окончательная скорость обучения	0,0005
Фактор импульса	0,5
Сигмовидная константа	1
Допустимое среднеквадратичное значение	0,01
Итерации	10 000
Среднеквадратичное значение обучения	0,3392
Среднеквадратичное значение тестирования	0,3543
Точность оценки, %	84,29
Общая эффективность	0,6858

В настоящем исследовании была разработана сеть MLP-ANN прямого распространения со слоем ввода, скрытым слоем и слоем вывода (табл. 2). Каждый слой содержит узлы (или нейроны), соединенные различными весами: слой ввода имел 3 узла, называемых переменными драйвера, 7 узлов были созданы в скрытом слое, а 2 узла были связаны с выходным слоем. Эффект и порядок влияния каждой переменной драйвера статистически проверялись по сравнению с навыком MLP-ANN с использованием 10 000 итераций. Целью обучения сети является получение надлежащих весов как для связей между входным и скрытым слоями, так и между скрытым и выходным слоями для классификации неизвестных пикселей. Общая (со всеми переменными) эффективность (0,6858) и точность (84,29 %) модели значительно превышают минимальные значения, позволяющие принять результат обучения (табл. 2).

5 Выводы

В исследовании представлена эмпирическая модель связи между зависимой переменной (изменение в землепользовании) и независимой переменной (природный фактор). При исследовании моделирования вероятности изменений в землепользовании под воздействием природных факторов был предложен и оценен метод многослойной искусственной нейронной сети MLP. В предлагаемом методе моделирования на основе геопространственных данных результаты экспериментов показывают, что модель MLP работает хорошо. Общая (со всеми переменными) (0,6858) эффективность и точность (84,29 %) модели значительно превышают минимальные значения, позволяющие принять результат обучения.

Результаты исследований также показывают, что природные факторы, такие как почва, геоморфология и расстояние до береговой линии, являются основными факторами изменений в землепользовании. Судя по результатам вероятностных преобразований в модели MLP, в данном исследовании почва оказывает наибольшее влияние на изменения в землепользовании, а расстояние до береговой линии — наименьшее.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Kuemmerle T., Chaskovskyy O., Knorn J., et al. Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007 // *Remote Sensing of Environment*. 2009. Vol. 113. No. 6. P. 1194–1207. DOI:10.1016/j.rse.2009.02.006.
2. Mas J.F., Kolb M., Paegelow M., et al. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages // *Environmental Modelling & Software*. 2014. Vol. 51. P. 94–111. DOI:10.1016/j.envsoft.2013.09.010.
3. Amiraslani F., Dragovich D. Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches // *Journal of Environmental Management*. 2011. Vol. 92. No. 1. P. 1–13. DOI:10.1016/j.jenvman.2010.08.012.
4. Maithani S. A Neural Network based Urban Growth Model of an Indian City // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2010. Vol. 37. No. 3. P. 363–376. DOI:10.1007/s12524-009-0041-7.
5. Pérez Vega A., Mas J.F., Ligmann-Zielinska A. Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest // *Environmental Modelling & Software*. 2012. Vol. 29. No. 1. P. 11–23. DOI:10.1016/j.envsoft.2011.09.011.
6. Fathizad H., Hakimzadeh Ardakani M.A., Taghizadeh Mehrjardi R.A., et al. Modeling Land Use Change Process by Integrating the MLP Neural Network Model in the Central Desert Regions of Iran // *Desert*. 2019. Vol. 24. No. 2. P. 241–254. DOI:10.22059/jdesert.2019.76364.
7. Shafizadeh-Moghadam H., Tayyebi A., Helbich M. Transition index maps for urban growth simulation: application of artificial neural networks, weight of evidence and fuzzy multi-criteria evaluation // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. Vol. 189. No. 6. P. 189–300. DOI:10.1007/s10661-017-5986-3.
8. Nguyễn V.N., Nguyễn C.C. Ứng dụng mạng Nơ-ron nhân tạo đa lớp trong thành lập mô hình phân vùng lũ quét khu vực miền núi Tây Bắc, thực nghiệm tại tỉnh Yên Bái // *Tạp Chí Khoa học Đo đạc Và Bản đồ*. 2020. Số 44. T. 56–64. DOI:10.54491/jgac.2020.44.304.
9. Azari M., Tayyebi A., Helbich M., et al. Integrating Cellular Automata, Artificial Neural Network and Fuzzy Set Theory to Simulate Threatened Orchards: Application to Maragheh, Iran // *GIScience & Remote Sensing*. 2016. Vol. 53. No. 2. P. 183–205. DOI:10.1080/15481603.2015.1137111.
10. Girma R., Fürst Ch., Moges A. Land Use Land Cover Change Modeling by Integrating Artificial-Neural-Network with Cellular Automata-Markov Chain Model in Gidabo River Basin, Main Ethiopian Rift // *Environmental Challenges*. 2021. Vol. 6. No. 10. P. 100419. DOI:10.1016/j.envc.2021.100419.
11. Gharaibeh A., Shaamala A., Obeidat R., et al. Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model // *Heliyon*. 2020. Vol. 6. No. 9. P. 1–18. DOI:10.1016/j.heliyon.2020.e05092.

АВТОРЫ **Чинь Куок Хюи**

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

кафедра космического мониторинга и экологии, картографический факультет
аспирант

 0009-0002-6752-0388

Малинников Василий Александрович

 malinnikov@mail.ru

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

кафедра космического мониторинга и экологии, картографический факультет
д-р техн. наук, профессор

 0000-0002-8663-755X

Поступила 19.09.2024. Принята к публикации 21.02.2025. Опубликовано 28.02.2025.



Modeling the possibility of land use changes under the influence of natural factors based on an artificial model of multilayer perceptrons

Trinh Quoc Huy¹✉, Vasily A. Malinnikov¹

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ quochuy9xnb@gmail.com

CITATION Trinh Quoc Huy, Malinnikov VA. Modeling the possibility of land use changes under the influence of natural factors based on an artificial model of multilayer perceptrons. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(1): 23–35. DOI:10.30533/GiA-2025-002.

KEYWORDS land use change, multilayer perceptrons, artificial neural networks, Cramer's V, backpropagation algorithm, natural factors

ABSTRACT Artificial Neural Network (ANN) are advanced pattern recognition algorithms capable of extracting complex nonlinear relationships between variables. This paper presents the application of artificial neural networks, in particular the Multi-layer Perceptrons (MLP) neural networks from the Land Change Modeler (LCM) to model the potential for land use change under the influence of natural factors. A case study conducted in Giao Thuy district is used to illustrate this method. Land use data from 2001 to 2013 were decoded using Landsat satellite images. The data analysis process was carried out using TerrSet software to obtain a simple MLP neural network consisting of an input layer (3 neurons), a hidden layer (7 neurons), and an output layer (2 neurons). The results of the study show that the MLP network works with high reliability. The overall (with all variables) efficiency of 0.6858 and accuracy of 84.29 % of the model are well above the acceptable limit to be used for training. The results of the study show that the three factors influencing land use change can be ranked in order: soils, geomorphology and finally the distance to the coastline have the greatest influence.

- REFERENCES**
1. Kuemmerle T, Chaskovskyy O, Knorn J, et al. Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007. *Remote Sensing of Environment*. 2009;113(6): 1194–1207. DOI:10.1016/j.rse.2009.02.006.
 2. Mas JF, Kolb M, Paegelow M, et al. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*. 2014;51: 94–111. DOI:10.1016/j.envsoft.2013.09.010.

3. Amiraslani F, Dragovich D. Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches. *Journal of Environmental Management*. 2011;92(1): 1–13. DOI:10.1016/j.jenvman.2010.08.012.
4. Maithani S. A Neural Network based Urban Growth Model of an Indian City. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2010;37(3): 363–376. DOI:10.1007/s12524-009-0041-7.
5. Pérez Vega A, Mas JF, Ligmann-Zielinska A. Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Environmental Modelling & Software*. 2012;29(1): 11–23. DOI:10.1016/j.envsoft.2011.09.011.
6. Fathizad H, Hakimzadeh Ardakani MA, Taghizadeh Mehrjardi RA, et al. Modeling Land Use Change Process by Integrating the MLP Neural Network Model in the Central Desert Regions of Iran. *Desert*. 2019;24(2): 241–254. DOI:10.22059/jdesert.2019.76364.
7. Shafizadeh-Moghadam H, Tayyebi A, Helbich M. Transition index maps for urban growth simulation: application of artificial neural networks, weight of evidence and fuzzy multi-criteria evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017;189(6): 189–300. DOI:10.1007/s10661-017-5986-3.
8. Nguyen VN, Nguyen CC. Application of multilayer artificial neural network in establishing a flash flood zoning model in the Northwestern mountainous region, experimentally in Yen Bai Province. *Journal of Mine Surveying and Cartographic Science*. 2020;44: 56–64. (In Vietnamese). DOI:10.54491/jgac.2020.44.304.
9. Azari M, Tayyebi A, Helbich M, et al. Integrating Cellular Automata, Artificial Neural Network and Fuzzy Set Theory to Simulate Threatened Orchards: Application to Maragheh, Iran. *GIScience & Remote Sensing*. 2016;53(2): 183–205. DOI:10.1080/15481603.2015.1137111.
10. Girma R, Fürst Ch, Moges A. Land Use Land Cover Change Modeling by Integrating Artificial-Neural-Network with Cellular Automata-Markov Chain Model in Gidabo River Basin, Main Ethiopian Rift. *Environmental Challenges*. 2021;6(10): 100419. DOI:10.1016/j.envc.2021.100419.
11. Gharaibeh A, Shaamala A, Obeidat R, et al. Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. *Heliyon*. 2020;6(9): 1–18. DOI:10.1016/j.heliyon.2020.e05092.

AUTHORS **Trinh Quoc Huy**

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
 Department of Space Monitoring and Ecology, Faculty of Cartography
 0009-0002-6752-0388

Vasily A. Malinnikov

 malinnikov@mail.ru
 Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
 Department of Space Monitoring and Ecology, Faculty of Cartography
 Dr. of Sci. (Engineering), Professor
 0000-0002-8663-755X

Submitted: September 19, 2024. Accepted: February 21, 2025. Published: February 28, 2025.



Применение генеративного искусственного интеллекта для повышения качества результатов аэрофотосъемки при проведении комплексных кадастровых работ

С.Ю. Лозовая¹, А.И. Поляков¹, Н.В. Ширина¹✉, Н.С. Рыжакова¹

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Белгород, Россия
✉ gkadastr@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Лозовая С.Ю., Поляков А.И., Ширина Н.В., Рыжакова Н.С. Применение генеративного искусственного интеллекта для повышения качества результатов аэрофотосъемки при проведении комплексных кадастровых работ // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 1. С. 36–49. DOI:10.30533/GiA-2025-003.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА аэрофотоснимок, беспилотный летательный аппарат, точность, генеративная сеть, ортофотоплан, комплексные кадастровые работы

АННОТАЦИЯ Нередко снимки, получаемые при аэрофотосъемке с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), вследствие различных причин могут иметь низкое разрешение, шумы, смазы, артефакты и искажения, что затрудняет дешифрирование объектов недвижимости и снижает точность определения их границ и площадей, увеличивая тем самым трудозатраты на выполнение кадастровых работ. Получение точных результатов обеспечивается качественными исходными данными, поэтому исследовалась возможность применения генеративного искусственного интеллекта с целью повышения качества снимков, получаемых при проведении аэрофотосъемки для решения задач кадастра недвижимости. В статье представлены результаты применения метода машинного обучения с использованием генеративных состязательных сетей. Исследование выполнялось на материалах, полученных при проведении комплексных кадастровых работ с помощью БПЛА. Представлены результаты обработки исходных аэрофотоснимков в модифицированной генеративной состязательной сети Real-ESRGAN. Выполнена фотограмметрическая обработка улучшенных аэрофотоснимков, созданы ортофотоплан и трехмерная модель местности. Проведен анализ обработанных изображений и полученного по ним ортофотоплана. Актуальность и важность применения данной технологии обусловлены задачами обеспечения кадастра недвижимости качественными исходными данными.

1 Введение

Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН) представляет собой свод достоверных систематизированных сведений¹. При этом данный ресурс не только имеет информационную функцию, но также обеспечивает функционирование таких сфер, как право собственности, налогообложение, рациональное и эффективное использование территорий и др. Поэтому актуализация, повышение качества ЕГРН и его наполнение достоверными сведениями об объектах недвижимости являются важными задачами деятельности Росреестра.

Для оптимизации ведения кадастра недвижимости путем внесения поправок в Федеральный закон № 221-ФЗ «О кадастровой деятельности» с 2015 года предусмотрены комплексные кадастровые работы (ККР), представляющие собой кадастровые работы, которые проводят в отношении кадастрового квартала или нескольких смежных кадастровых кварталов. Комплексность данного вида работ позволяет сэкономить финансовые, временные и кадровые ресурсы, что, в свою очередь, повышает эффективность системы ЕГРН.

В нормативной документации² регламентированы методы определения координат объектов недвижимости. Для проведения ККР в последние годы чаще всего применяется фотограмметрический метод — не только из-за ряда своих преимуществ, но и из-за активного развития области беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Основными преимуществами применения беспилотных технологий являются возможность получения качественных аэрофотоснимков, высокая скорость получения аэрофотоснимков, возможность проведения съемки с малых высот. Первоочередной же задачей аэрофотосъемки выступает улучшение качества получаемых аэрофотоснимков.

Но, как и любая технология, беспилотные технологии имеют недостатки, от которых зависит точность определения координат объектов недвижимости. Одним из недостатков является подверженность влиянию погодных условий. Так, в особо сложных погодных условиях изображения могут получаться размытыми из-за колебаний съемочного оборудования, высокой скорости полета БПЛА на низких высотах [1]. Некачественные изображения могут вносить погрешности и уменьшать итоговую точность определения координат объектов недвижимости, что напрямую влияет на экономические аспекты точности определения частных владений.

Для устранения размытия, шумов и артефактов, возникающих при сжатии снимков, исследуется применение алгоритмов генеративных состязательных сетей (GAN — generative adversarial network), в том числе SR-модели (super resolution), которые позволяют повысить пространственное разрешение цифровых моделей местности [2]. Согласно изученным исследованиям [3], в последнее время для повышения разрешения снимков создано достаточное количество сетей различной архитектуры. Например, DeblurGAN [4] известна как одна из основных сетей повышения качества изображений и видео, в которой решаются проблемы блюра и хроматической аберрации, а также размытия объектов в движении, что позволяет применять ее при съемке с помощью БПЛА. Но, несмотря на применение алгоритма улучшения на размытых изображениях, может возникнуть негативный эффект в виде ухудшения качества изображений высокого разрешения (рис. 1).

1 Федеральный закон РФ от 13 июля 2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/ (дата обращения: 27.10.2024).

2 Приказ Росреестра от 23 октября 2020 г. № П/0393 «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_368160/ (дата обращения: 27.10.2024).



Рис. 1 Результаты на тестовом наборе данных GoPro. Слева направо: размытое фото, DeblurGAN [4]

Fig. 1 The results are based on the GoPro test dataset. From left to right: blurred photo, DeblurGAN [4]

Таблица 1 Примеры результатов размытия на сложных фонах [5]

Table 1 Examples of blurring results on complex backgrounds [5]

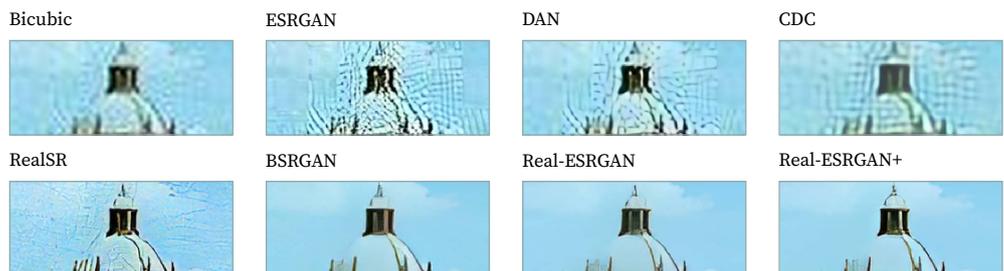
В других исследованиях применяется DCGAN, которая разработана для синтеза новых наборов данных, чтобы расширить собственные массивы. Например, в работе [5] авторы указали на проблемы, связанные с осмотром фасадов зданий с применением БПЛА. Для устранения размытия изображений применялась DCGAN, состоящая из residual-блоков со сквозными соединениями (skip connections). Предложенная модель сравнивалась с другими моделями, и было установлено, что она способна достичь значительных улучшений в устранении размытия изображений трещин на фасадах зданий (табл. 1).

	Четкое изображение	Размытое изображение	Сгенерированное изображение
Образец 1			
Образец 2			

Рис. 2 Качественные сравнения на нескольких репрезентативных образцах [7]

Fig. 2 Qualitative comparisons on several representative samples [7]

Согласно исследованиям, SRGAN создавалась и использовалась для повышения разрешения изображений с целью улучшения общей эффективности обнаружения дефектов [6]. ESRGAN — усовершенствованная версия модели SRGAN, в которой улучшили три основных компонента: сетевую архитектуру, составительные потери и потери восприятия (рис. 2) [7].



Согласно другим исследованиям [8], на примере снимков архитектурных / исторических конструкций показывает хорошие результаты SwinIR. В данной сети применяется иерархический подход, при котором процесс масштабирования разбивается на управляемые фрагменты. Изображение делится на более мелкие участки, обрабатываемые по отдельности, что позволяет алгоритму фиксировать сложные детали, которые в противном случае могли бы быть потеряны при использовании традиционных методов масштабирования [3].

В данной статье изучена возможность применения модифицированной SRGAN, а именно Real-ESRGAN, для увеличения разрешения и устранения искажений исходных данных, полученных при выполнении аэрофотосъемки. Данные технологии возможно применять при проведении ККР фотограмметрическим методом с целью повышения качества дешифрирования объектов недвижимости и точности определения их координат.

2 Материалы и методы

Для подтверждения гипотезы проводилось исследование по материалам аэрофотосъемки с использованием БПЛА Geoscan Gemini с камерой Sony UMC-R10C с объективом 20 мм $f/2.8$. Улучшение качества аэрофотоснимков проводилось в модифицированной SRGAN Real-ESRGAN с применением стандартной модели искажений и коэффициентом увеличения, равным четырем. Обработка результатов аэрофотосъемки выполнялась в программном обеспечении Agisoft Metashape Professional.

В качестве исходных данных использовалось 352 аэрофотоснимка, полученных при выполнении ККР в отношении кадастровых кварталов с номерами 31:14:0803005 и 31:02:2101001, расположенных соответственно в Борисовском и Прохоровском районах Белгородской области. Аэрофотоснимки, полученные в ходе полевых работ, имели стандартное для используемой камеры разрешение 5456×3632 пикселя и сохранялись в формате .jpg, обработанные снимки сохранялись без изменения формата файла и имели разрешение 10 912×7264 пикселя.

2.1 Обзор архитектуры и параметров сети Real-ESRGAN

Как и все GAN, рассматриваемая Real-ESRGAN состоит из двух нейронных сетей: генератора (рис. 3, 4) и дискриминатора (рис. 5). Задача генератора заключается в постепенной генерации набора изображений, которые максимально похожи на исходные снимки, но имеют требуемые улучшения. Дискриминатор, в свою очередь, принимает на вход набор реальных и сгенерированных изображений и определяет их подлинность. В процессе такого оценивания генератор обучается создавать более правдоподобные изображения, а дискриминатор — отличать сгенерированные снимки.

На этапе предобработки снимков выполняется операция Pixel Unshuffle для уменьшения пространственного размера и увеличения числа каналов изображения. Такая процедура снижает потребление памяти и вычислительных ресурсов [7].

После понижения размерности снимки подаются на вход сверточной нейронной сети (CNN), состоящей из сверточных (convolution) слоев и RRDB-блоков (Residual-in-Residual Dense Block), которые представляют из себя residual-блоки с удаленным слоем батч-нормализации после сверток. Сгенерированные образцы из генератора передаются в сеть-дискриминатор.

В свою очередь, дискриминатор, основанный на модифицированной архитектуре U-Net со спектральной нормализацией для повышения стабильности обучения, обеспечивает вывод значения реалистичности аэрофотоснимка.

Рис. 3 

Архитектура генератора ESRGAN с предобработкой Pixel Unshuffle для уменьшения пространственного размера и увеличения числа каналов изображения

Fig. 3

ESRGAN generator architecture with Pixel Unshuffle preprocessing to reduce the spatial size and increase the number of image channels

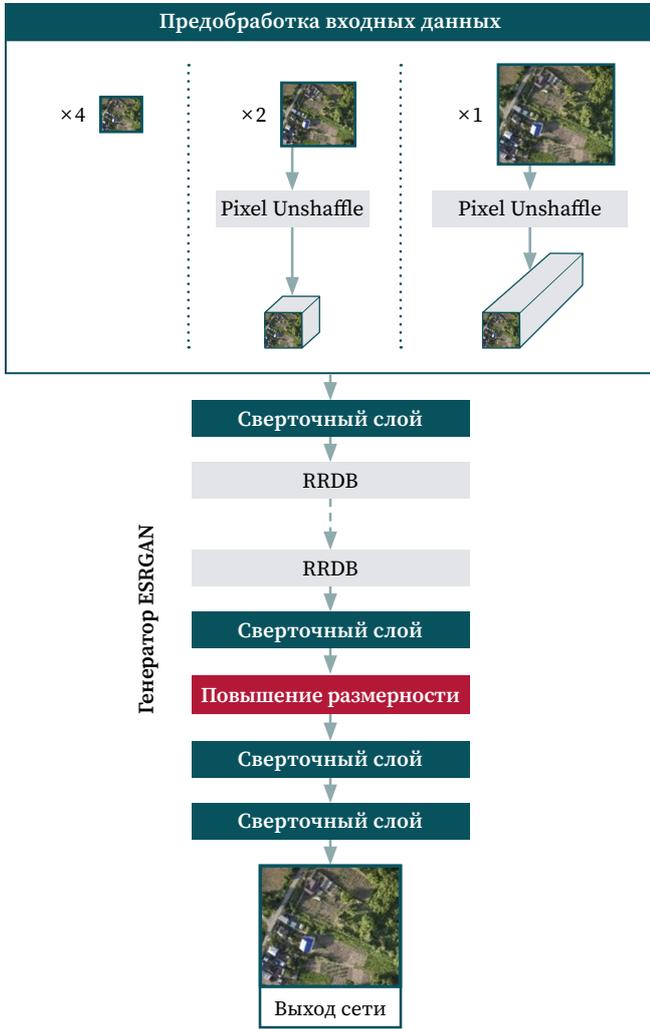


Рис. 4 

Архитектура Dense-блоков, которые являются составной частью RRDB-блоков, входящих в сеть генератора

Fig. 4

Architecture of Dense-blocks, which are an integral part of the RRDB-blocks included in the generator network

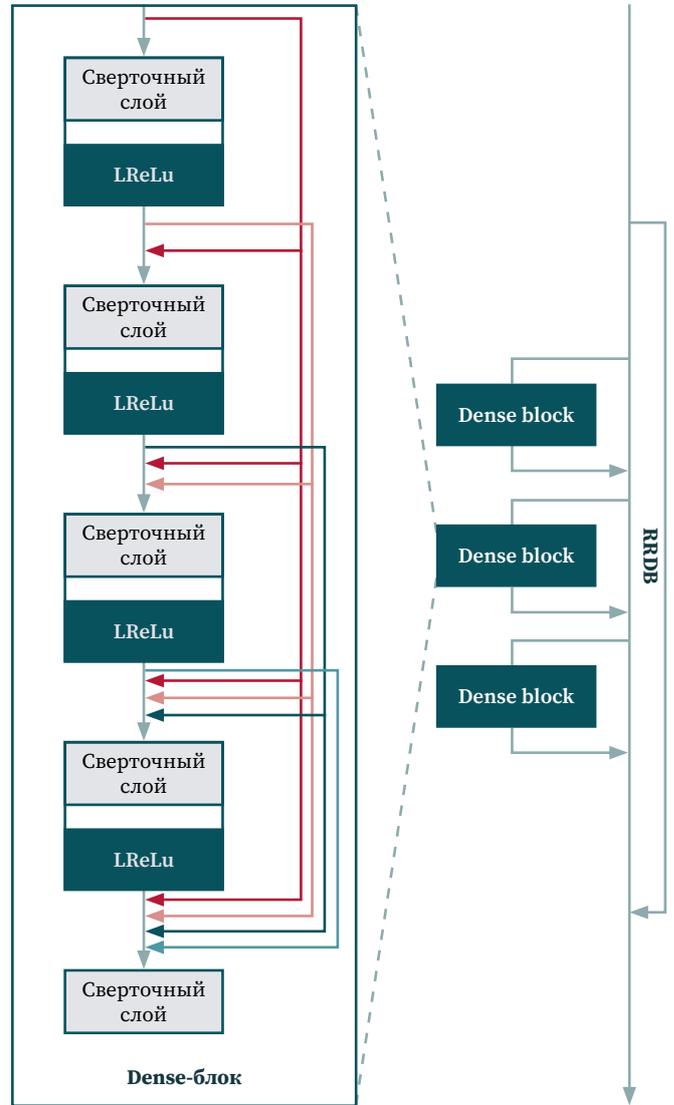
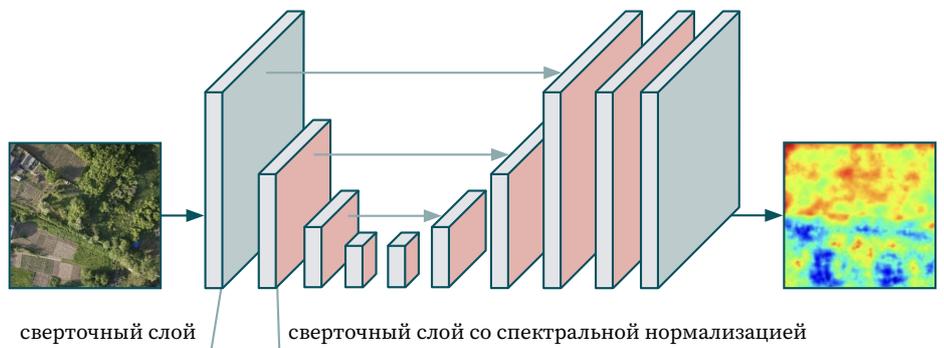


Рис. 5 

Модифицированный дискриминатор Real-ESRGAN, состоящий из энкодерной части, включающей входной слой и три сверточных слоя с регуляризационным слоем со спектральной нормализацией, и декодерной части, состоящей из пяти сверточных слоев со спектральной нормализацией и выходного слоя

Fig. 5

Modified Real-ESRGAN discriminator consisting of an encoder part, including an input layer and three convolutional layers with a spectral normalization regularization layer; and a decoder part, consisting of five convolutional layers with spectral normalization and an output layer



Дискриминатор также снабжает генератор подробной информацией о каждом элементе (пикселе) сэмпированного распределения.

В основу процесса обучения модели положены две оптимизационные задачи: минимизация потерь генератора и максимизация потерь дискриминатора на обучающей выборке. Поэтому для определения состязательных потерь используются две функции:

– для дискриминатора –

$$1 \quad L_D^{Ra} = -\mathbb{E}_{x_r}[\log(D(x_r, x_f))] - \mathbb{E}_{x_f}[\log(1 - D(x_f, x_r))],$$

– для генератора –

$$2 \quad L_G^{Ra} = -\mathbb{E}_{x_r}[\log(1 - D(x_r, x_f))] - \mathbb{E}_{x_f}[\log(D(x_f, x_r))],$$

где $\mathbb{E}_{x_f}[\cdot]$ – операция нахождения среднего значения по сгенерированным данным в батче;

$D(x_r, x_f) = \sigma(C(x_r) - \mathbb{E}_{x_f}[C(x_f)])$ – преобразование выхода дискриминатора для определения, насколько сгенерированные изображения отличаются от реальных [$C(x)$ – непреобразованный выход дискриминатора];

$x_f = G(x_i)$ – сгенерированное изображение с увеличенным разрешением, x_i – входное изображение низкого разрешения.

В работе [9] авторы говорят о том, что использование градиентов сгенерированных и реальных снимков в процессе состязательного обучения позволяет выделять более четкие грани и детализированные структуры признаков. Исследователями [9] также предложена эффективная функция для оценки потерь восприятия L_{percep} , встраиваемая перед активацией.

С учетом всех слагаемых функция потерь для генератора определяется выражением

$$3 \quad L_G = L_{percep} + \lambda \times L_G^{Ra} + \eta \times L_1,$$

где $L_1 = \mathbb{E}_{x_i} \|G(x_i) - y\|_1$ – потеря содержания, определяющая первую норму расстояния между сгенерированным и исходным изображениями;

λ, η – коэффициенты, определяющие вклад каждой составляющей функции потерь.

Для обучения используемой в исследовании модели авторы применяли несколько наборов данных: DIV2K [10], Flickr2K [11] и OutdoorSceneTraining [12].

2.2 Выполнение аэрофотосъемки. Обработка результатов

Чтобы обеспечивать качественное получение аэрофотоснимков, необходимо соблюдать технологию проведения аэрофотосъемки с учетом необходимых требований. Согласно приказу Росреестра от 23 октября 2020 г. № П/0393, размер проекции пикселя на местности для аэрофотоснимков для застроенных территорий должен составлять не более 5 см. Для получения аэрофотоснимков с требуемым пространственным разрешением необходимо проектировать высоту фотографирования, при этом также учитывать характеристики используемой фотокамеры. Перекрытие аэрофотоснимков в маршруте и между маршрутами должно составлять не менее 60 %.

В рамках исследования авторами предложена схема проведения аэрофотосъемочных работ при выполнении ККР с дополнительным этапом обработки полученных с БПЛА изображений (рис. 6).

Рис. 6 ➔

Схема проведения аэрофотосъемочных работ при ККР

Fig. 6

The scheme of aerial photography during complex cadastral works



Таблица 2 ✓

Основные параметры полетного задания

Table 2

Main parameters of the flight task

Параметр	Значение
Высота полета, м	150
Крейсерская скорость полета, м/с	15
Продольное перекрытие снимков, %	80
Поперечное перекрытие снимков, %	60

Подготовительный этап

Осуществлялся сбор информации по территории. Затем определялись характеристики маршрута, выполнялись необходимые расчеты, в том числе по высоте фотографирования, поперечному базису и интервалу фотографирования, с учетом которых проектировался маршрут облета территории. При составлении полетного задания (табл. 2) (маршрута полета) учитывалось следующее:

- технические особенности используемого БПЛА;
- маршрут должен охватывать снимаемую площадь с небольшим запасом территории за границей съемки;
- маршрут должен быть построен с учетом направления и силы ветра;
- маршрут должен иметь оптимальное время полета;
- маршруты должны обеспечивать перекрытие с соседними маршрутами (для больших территорий).

Чтобы обеспечить получение данных с большей точностью, необходимо было создать съемочное обоснование в виде опознавательных знаков, координирование которых выполнялось методом спутниковых геодезических измерений. Оознаки маркировались перед аэрофотосъемкой. Размер и форму опознаков выбирали с учетом высоты полета и масштаба съемки, а также они должны были быть хорошо различимы на фоне земли.

Полевой этап

Опознавательные знаки устанавливались таким образом, чтобы на каждом участке съемки присутствовало не менее трех знаков, а в общем по всем маршрутам образовывалась замкнутая геодезическая сеть.

Аэрофотосъемка не должна была выполняться при неблагоприятных условиях, например при сильных порывах ветра более 10 м/с, снеге, дожде и тумане. Обязательно соблюдались также местные нормативные требования органов регулирования воздушного пространства, что включало соблюдение бесполетных зон, ограничений высоты и расстояний.

Камеральный этап

В рамках исследования авторами перед фотограмметрической обработкой полученных с БПЛА изображений была выполнена их обработка в Real-ESRGAN. Для обучения использовалось окружение Anaconda Python 3.7, ОС Linux Ubuntu, видеокарта NVIDIA 3060 с объемом видеопамати 12 Гб, 128 Гб оперативной памяти. При такой конфигурации размер оптимального обучающего батча равен четырем, а размер фрагмента одного изображения принимался равным 256 пикселей. Обучение проводилось в течение 400 тыс. итераций для Real-ESRGAN со скоростью обучения 1×10^{-4} .

Улучшенные снимки, как и необработанные, загружались в Agisoft Metashape Professional для дальнейшей фотограмметрической обработки с целью создания ортофотоплана территории. Чтобы обеспечить большую точность при определении контуров объектов недвижимости, была выполнена координатная привязка снимков по алгоритму [13]. В результате был построен ортофотоплан с размером проекции пикселя не более 5 см, а также трехмерная модель территории (рис. 7).

Рис. 7 ➤

Фрагмент трехмерной модели

Fig. 7

A fragment of a three-dimensional model



3 Результаты и обсуждение

Результаты исследования по использованию генеративной сети показали, что обработка аэрофотоснимков с целью улучшения их качества позволила увеличить количество связующих точек при построении ортофотоплана и цифровой модели местности (табл. 3).

Таблица 3 ➤

Результаты обработки аэрофотоснимка, полученного с помощью БПЛА Geoscan Gemini

Table 3

Results of processing an aerial photograph obtained using the Geoscan Gemini UAV

	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Исходный снимок			
Снимок, обработанный Real-ESRGAN			

При увеличении разрешения аэрофотоснимков в четыре раза были достигнуты следующие показатели (табл. 4):

- уменьшился размер пикселя в 4 раза;
- увеличилось количество связующих точек в 3 раза;
- увеличилось облако точек в 30 раз.

Таблица 4  Результаты обработки исходных изображений

Table 4 Results of processing source images

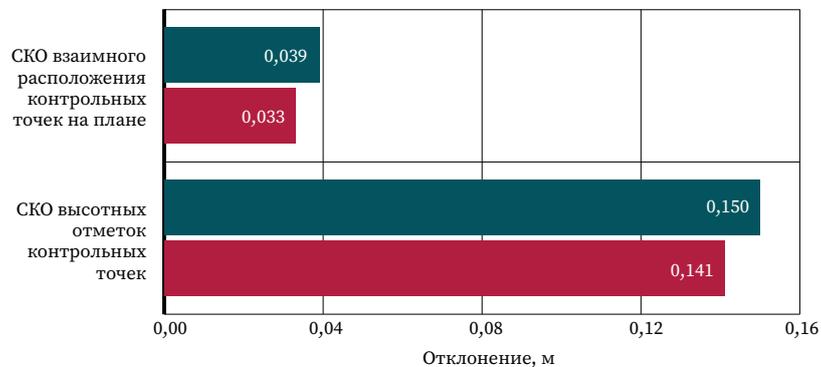
Параметр	Обработка аэрофотоснимков	
	исходных	улучшенных
Разрешение ортофотоплана, см на пиксель	3,39	0,84
Связующие точки, шт.	373 200	1 134 167
Облако точек, шт.	79 968 735	2 233 707 573
Разрешение ЦММ, см на пиксель	6,79	1,69

Отметим также, что кроме улучшения разрешения ортофотоплана и цифровой модели местности было достигнуто уменьшение средней квадратической ошибки (СКО) взаимного положения контрольных точек в плане и по высоте (рис. 8).

Рис. 8  Результаты обработки исходных изображений в Real-ESRGAN

Fig. 8 Results of processing source images in Real-ESRGAN

Условные обозначения
 исходные снимки
 снимки с увеличенным разрешением



Достигнутые результаты подтверждают возможность существенного снижения трудоемкости дешифрирования контуров объектов недвижимости, а также увеличения точности определения координат и площадей объектов недвижимости. Применение такой технологии будет особенно актуально при проведении ККР, где нередко требуется получить границы, координаты и другие геометрические параметры объектов недвижимости по изображениям с дефектами без возможности их обновления.

4 Выводы

Проведена обработка исходных аэрофотоснимков с целью увеличения разрешения и устранения искажений объектов недвижимости, а также повышения точности определения их координат. Результаты обработки исходных изображений (табл. 4), полученных с БПЛА, подтверждают выводы [14]:

- увеличилось разрешение исходных снимков;
- увеличилось количество общих и связующих точек;
- уменьшился размер проекции пикселя;
- повысилась точность определения координат объектов недвижимости.

Первые полученные авторами экспериментальные данные показывают кратное увеличение статистических данных при обработке снимков, также повысилось разрешение итоговой картографической продукции (табл. 4).

В целом результаты данного исследования могут быть полезны для обработки и анализа данных, полученных при применении беспилотной аэрофотосъемки в целях проведения ККР, и могут использоваться для совершенствования фотограмметрических технологий не только в сфере кадастра, но и в других отраслях.

БЛАГОДАРНОСТИ Работа проведена в научно-исследовательской лаборатории беспилотных и геоинформационных систем в сфере дистанционного мониторинга БГТУ им. В.Г. Шухова в рамках темы государственного задания № FZWN-2024-0011 «Разработка адаптивно-вариативного комплекса беспилотных авиационных систем для инфраструктурных задач на основе цифровых двойников».

- БИБЛИОГРАФИЯ**
1. Захлебин А.С. Повышение точности построения ортофотоплана местности по видеоданным с беспилотного летательного аппарата: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2022. 139 с.
 2. Zheng X., Xu Z., Yin Q., et al. A Transformer-Unet Generative Adversarial Network for the Super-Resolution Reconstruction of DEMs // *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16. No. 19. P. 3676. DOI:10.3390/rs16193676.
 3. Фомина Е.С. Оценка эффективности применения специализированных нейронных сетей для повышения разрешения изображений, получаемых при дистанционном зондировании Земли // *Системы управления, связи и безопасности*. 2023. № 3. С. 71–90. DOI:10.24412/2410-9916-2023-3-71-90.
 4. Kupyn O., Budzan V., Mykhailych M., et al. DeblurGAN: Blind Motion Deblurring Using Conditional Adversarial Networks // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Salt Lake City, 2018. P. 8183–8192. DOI:10.1109/CVPR.2018.00854.
 5. Liu Y., Yeoh J.K.W., Chua D.K.H. Deep Learning-Based Enhancement of Motion Blurred UAV Concrete Crack Images // *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2020. Vol. 34. No. 5. P. 04020028. DOI:10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000907.
 6. Yuan B., Sun Z., Pei L., et al. Super-Resolution Reconstruction Method of Pavement Crack Images Based On an Improved Generative Adversarial Network // *Sensors (Basel)*. 2022. Vol. 22. No. 23. P. 9092. DOI:10.3390/s22239092.
 7. Wang X., Xie L., Dong C., et al. Real-ESRGAN: Training Real-World Blind Super-Resolution with Pure Synthetic Data // 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW). Montreal, 2021. P. 1905–1914. DOI:10.1109/ICCVW54120.2021.00217.
 8. Liang J., Cao J., Sun G., et al. SwinIR: Image Restoration Using Swin Transformer // IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW). Montreal, 2021. P. 1833–1844. DOI:10.1109/ICCVW54120.2021.00210.
 9. Wang X., Yu K., Wu S., et al. ESRGAN: Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks // *Computer Vision – ECCV 2018 Workshops*. Munich, 2018. P. 63–79. DOI:10.48550/arXiv.1809.00219.
 10. Agustsson E., Timofte R. NTIRE 2017 Challenge on Single Image Super-Resolution: Dataset and Study // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). Honolulu, 2017. P. 1122–1131. DOI:10.1109/CVPRW.2017.150.
 11. Timofte R., Agustsson E., Gool L.V., et al. NTIRE 2017 Challenge on Single Image Super-Resolution: Methods and Results // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). Honolulu, 2017. P. 1110–1121. DOI:10.1109/CVPRW.2017.149.
 12. Wang X., Yu K., Dong C., et al. Recovering Realistic Texture in Image Super-Resolution by Deep Spatial Feature Transform // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Salt Lake City, 2018. P. 606–615. DOI:10.1109/CVPR.2018.00070.
 13. Шин Е.Р., Щекина А.Ю., Черкасов Р.А. Технология создания топопланов масштаба 1 : 500 по данным съемки с квадрокоптера Phantom 4 // *Вектор ГеоНаук*. 2019. Т. 2. № 1. С. 54–58. DOI:10.24411/2619-0761-2019-10008.
 14. Захлебин А.С., Курячий М.И., Капустин В.В. и др. Повышение контраста и точности локализации объектов интереса на ортофотопланах местности, построенных по искаженным изображениям с беспилотного летательного аппарата // *Омский научный вестник*. 2024. Т. 1. № 189. С. 119–126. DOI:10.25206/1813-8225-2024-189-119-126.

АВТОРЫ **Лозовая Светлана Юрьевна**
 ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова), Белгород, Россия
 кафедра городского кадастра и инженерных изысканий, Архитектурный институт
 д-р техн. наук
 0000-0002-6446-4141

Поляков Александр Иванович

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова), Белгород, Россия
кафедра городского кадастра и инженерных изысканий, Архитектурный институт
ID 0000-0001-7487-7647

Ширина Наталья Владимировна

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова), Белгород, Россия
кафедра городского кадастра и инженерных изысканий, Архитектурный институт
канд. техн. наук, доцент
ID 0000-0002-6166-0753

Рыжакова Надежда Сергеевна

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова), Белгород, Россия
кафедра городского кадастра и инженерных изысканий, Архитектурный институт
ID 0000-0002-2971-3309

Поступила 29.10.2024. Принята к публикации 21.02.2025. Опубликовано 28.02.2025.



The use of generative artificial intelligence to improve the quality of aerial photography results during complex cadastral works

**Svetlana Yu. Lozovaya¹, Alexander I. Polyakov¹,
Natalia V. Shirina¹✉, Nadezhda S. Ryzhakova¹**

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
✉ gkadastr@mail.ru

CITATION Lozovaya SYu, Polyakov AI, Shirina NV, Ryzhakova NS. The use of generative artificial intelligence to improve the quality of aerial photography results during complex cadastral works. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(1): 36–49. DOI:10.30533/GiA-2025-003.

KEYWORDS aerial photography, unmanned aerial vehicles, precision, generative network, orthophotoplane, complex cadastral works

ABSTRACT Often, images obtained during aerial photography using UAV, due to various reasons, may have low resolution, various noises, smudges, artifacts and distortions, which makes it difficult to decrypt real estate objects and reduces the accuracy of determining their boundaries and areas, thereby increasing the labor costs of performing cadastral work. Based on this, in order to obtain accurate results, it is necessary to provide high-quality initial data. Therefore, the possibility of using generative artificial intelligence was investigated in order to improve the quality of images obtained during aerial photography to solve real estate cadastre problems. The article presents the results of applying the machine learning method using generative adversarial networks. The study was carried out on the materials obtained during the complex cadastral works with the help of UAV. The results of processing the initial aerial photographs in the modified generative adversarial network Real-ESRGAN are presented. Photogrammetric processing of improved aerial photographs was performed, an orthophotoplan and a three-dimensional terrain model were created. The analysis of the processed images and the orthophotoplane obtained from them is carried out. The relevance and importance of using this technology is due to the tasks of providing the real estate cadastre with high-quality source data.

ACKNOWLEDGEMENTS The work was carried out in the scientific research laboratory of unmanned and geoinformation systems in the field of remote monitoring of V.G. Shukhov BSTU within the framework of the topic of state assignment No. FZWN-2024-0011 “Development of an adaptive and variable complex of unmanned aircraft systems for infrastructure tasks based on digital twins”.

- REFERENCES**
1. Zakhlebin AS. *Povyshenie tochnosti postroeniya ortofotoplana mestnosti po videodannym s bespilotnogo letatel'nogo apparata* [Improving the accuracy of constructing an orthophotoplane of an area based on video data from an unmanned aerial vehicle] [dissertation]. Tomsk, 2022. 139 p. (In Russian).
 2. Zheng X, Xu Z, Yin Q, et al. A Transformer-Unet Generative Adversarial Network for the Super-Resolution Reconstruction of DEMs. *Remote Sensing*. 2024;16(19): 3676. DOI:10.3390/rs16193676.
 3. Fomina ES. Ocenka jeffektivnosti primeneniya specializirovannyh nejronnyh setej dlja povysheniya razresheniya izobrazhenij, poluchaemyh pri distancionnom zondirovanii Zemli [Evaluation of the effectiveness of the use of specialized neural networks to increase the resolution of images obtained during remote sensing of the Earth]. *Control systems, communications and security*. 2023;3: 71–90. (In Russian). DOI:10.24412/2410-9916-2023-3-71-90.
 4. Kupyn O, Budzan V, Mykhailych M, et al. DeblurGAN: Blind Motion Deblurring Using Conditional Adversarial Networks. *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Salt Lake City, 2018: 8183–8192. DOI:10.1109/CVPR.2018.00854.
 5. Liu Y, Yeoh J, Chua D. Deep Learning–Based Enhancement of Motion Blurred UAV Concrete Crack Images. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2020;34(5): 04020028. DOI:10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000907.
 6. Yuan B, Sun Z, Pei L, et al. Super-Resolution Reconstruction Method of Pavement Crack Images Based On an Improved Generative Adversarial Network. *Sensors (Basel)*. 2022;22(23): 9092. DOI:10.3390/s22239092.
 7. Wang X, Xie L, Dong C, et al. Real-ESRGAN: Training Real-World Blind Super-Resolution with Pure Synthetic Data. *2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW)*. Montreal, 2021: 1905–1914. DOI:10.1109/ICCVW54120.2021.00217.
 8. Liang J, Cao J, Sun G, et al. SwinIR: Image Restoration Using Swin Transformer. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Montreal, 2021: 1833–1844. DOI:10.1109/ICCVW54120.2021.00210.
 9. Wang X, Yu K, Wu S, et al. ESRGAN: Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks. *Computer Vision – ECCV 2018 Workshops*. Munich, 2018: 63–79. DOI:10.48550/arXiv.1809.00219.
 10. Agustsson E, Timofte R. NTIRE 2017 Challenge on Single Image Super-Resolution: Dataset and Study. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. Honolulu, 2017: 1122–1131. DOI:10.1109/CVPRW.2017.150.
 11. Timofte R, Agustsson E, Gool LV, et al. NTIRE 2017 Challenge on Single Image Super-Resolution: Methods and Results. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. Honolulu, 2017: 1110–1121. DOI:10.1109/CVPRW.2017.149.
 12. Wang X, Yu K, Dong C, et al. Recovering Realistic Texture in Image Super-Resolution by Deep Spatial Feature Transform. *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Salt Lake City, 2018: 606–615. DOI:10.1109/CVPR.2018.00070.
 13. Shin ER, Shchekina AYu, Cherkasov RA. Tehnologija sozdaniya topoplanov masshtaba 1 : 500 po dannym s'emki s kvadroptera Phantom 4 [The technology of creating topographic planes at a scale of 1: 500 according to shooting data from a Phantom 4 quadcopter]. *Vektor GeoNauk*. 2019;2(1): 54–58. (In Russian). DOI:10.24411/2619-0761-2019-10008.
 14. Zakhlebin AS, Kuryachiy MI, Kapustin VV, et al. Povyshenie kontrasta i tochnosti lokalizacii ob'ektov interesa na ortofotoplanah mestnosti, postroennyh po iskazhennym izobrazhenijam s bespilotnogo letatel'nogo apparata [Increasing the contrast and accuracy of localization of objects of interest on orthophotomaps of the terrain built from distorted images from an unmanned aerial vehicle]. *Omsk Scientific Bulletin*. 2024;1(189): 119–126. (In Russian). DOI:10.25206/1813-8225-2024-189-119-126.

AUTHORS Svetlana Yu. Lozovaya

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Department of Urban Cadastre and Engineering Surveys, Architectural Institute
Dr. of Sci. (Engineering)

 0000-0002-6446-4141

Alexander I. Polyakov

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Department of Urban Cadastre and Engineering Surveys, Architectural Institute

 0000-0001-7487-7647

Natalia V. Shirina

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Department of Urban Cadastre and Engineering Surveys, Architectural Institute

PhD in Engineering, Associate Professor

 0000-0002-6166-0753

Nadezhda S. Ryzhakova

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Department of Urban Cadastre and Engineering Surveys, Architectural Institute

 0000-0002-2971-3309

Submitted: October 29, 2024. Accepted: February 21, 2025. Published: February 28, 2025.



К вопросу о точности и источниках ошибок, возникающих при моделировании человеческого лица стереофотограмметрическим методом

Т.Н. Скрыпичина¹✉, А.В. Уколова¹, Д.О. Дрыга²

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН), Москва, Россия

✉ mola_mola@rambler.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Скрыпичина Т.Н., Уколова А.В., Дрыга Д.О. К вопросу о точности и источниках ошибок, возникающих при моделировании человеческого лица стереофотограмметрическим методом // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 1. С. 50–63. DOI:10.30533/GiA-2025-009.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА специализированная многокамерная фотоустановка, трехмерные модели лица, источники ошибок, оценка точности

АННОТАЦИЯ Многокамерные фотоустановки зарубежного производства для создания трехмерных моделей человеческого тела применяются в медицинских учреждениях для пластической хирургии и ортодонтии. Эти системы обеспечивают высокую точность, достигающую 0,5 мм, но их стоимость может быть значительной, что ограничивает их доступность для государственных медицинских учреждений. Такая высокая точность фотограмметрических технологий достигается за счет сенсоров, которые обеспечивают высокодетальную съемку, и строгих алгоритмов фотограмметрической обработки. При этом важная задача оценки формы лица для анализа его асимметрии до конца не решена. В статье представлен опыт разработки российской 15-камерной фотограмметрической системы, предназначенной для количественной оценки изменения формы лица человека. Проанализированы источники ошибок, которые неизбежно возникают при моделировании лица живого человека, рассчитан реальный диапазон ошибок, который следует ожидать при съемке специализированной многокамерной фотоустановкой. В результате определено, что точность, которую обеспечивает стереофотограмметрический метод, позволяет воспроизводить формы рельефа лица (с учетом нестатичности) с точностью, не превышающей 1,5 мм. Ошибка, которую вносит процесс приведения моделей в единую

систему координат первой модели, порядка 1,2–1,4 мм, а достоверно оценить динамику изменения лица можно, если изменения по высоте (выпуклость) не менее 5 мм. Эти результаты удовлетворяют потребностям клиницистов, но могут быть повышены за счет улучшения алгоритмов взаимного ориентирования моделей в единой системе координат.

1 Введение

Технологии создания трехмерных моделей лица с использованием многокамерных установок активно развиваются и находят широкое применение в различных областях, таких как медицина, анимация, безопасность и развлечения. Такие системы съемки позволяют получать высокоточные 3D-модели, которые могут использоваться, например, для диагностики, планирования хирургических операций, создания анимационных персонажей и даже в системах распознавания лиц [1–6].

Зарубежные компании, такие как 3dMD (США), Artec 3D (Люксембург), 3D VECTRA (США), являются лидерами в области разработки систем для получения 3D-изображений лица и тела. Установки 3dMD применяются в медицинских учреждениях для пластической хирургии и ортодонтии [3, 6–8]. Эти системы обеспечивают высокую точность, достигающую 0,5 мм, но их стоимость может быть значительной, что ограничивает их доступность для государственных медицинских учреждений. Artec 3D и 3D VECTRA предлагают решения для оптического 3D-сканирования, которые также находят применение в здравоохранении и промышленности, обеспечивая точность на уровне 0,1 мм, однако их стоимость тоже высока. Кроме того, достаточно сложно обеспечить сравнение результатов при длительном лечении [6, 9].

В России разработки в этой области представлены компанией Texel. Она производит 3D-сканеры для создания моделей лица и тела, применяемые в ритейле и виртуальных примерочных, с точностью около 1–2 мм, но не предлагает методы оценки биометрических параметров.

Высокая точность фотограмметрических технологий достигается за счет сенсоров, которые обеспечивают высокдетальную съемку, и строгих алгоритмов фотограмметрической обработки. При этом, однако, в медицине недостаточно простого внедрения высокотехнологичного оборудования — в данном направлении требуется реализация методов и алгоритмов количественной оценки получаемого результата моделирования. Очевидно, что многие процедуры в ходе диагностики и наблюдения сложных неврологических заболеваний, связанных, в частности, с параличом лицевых мышц, требуют сложной системы оценки изменения лица на протяжении длительного процесса лечения. Это выражается не только в измерении определенных ключевых точек в плоскости лица [6, 7, 9], но и в оценке рельефов лица в целом, в том числе и определении объемов отдельных частей лица.

Естественным является вопрос о точности методов такой оценки. Предлагаемые производителями съемочные системы имеют практически равнозначную точность построения моделей, которая является, безусловно, высокой и обеспечивается возможностью сенсоров и алгоритмов обработки сигнала. Но здесь не учтены методические ошибки, которые неизбежно будут возникать при сравнении моделей, а также случайные ошибки, вызванные принципиальной нестатичностью лицевых мышц.

Данное исследование является продолжением и усовершенствованием разработки многокамерной системы, описанной в [10]. Соответственно, в статье рассмотрены вопросы проектирования фотограмметрической установки, процесс калибровки системы, влияние методических и случайных ошибок на конечную точность фотограмметрического метода оценки лица по его трехмерной модели.

Представленная в статье многокамерная фотограмметрическая установка состоит из 15 цифровых камер и позволяет одновременно производить съемку

пациента, чем отличается от сканерных систем [11]. Использование обычных неметрических, цифровых фотокамер делает ее доступной с экономической точки зрения для широкого круга медицинских учреждений, удовлетворяя специфические потребности медицинской сферы, обеспечивая высокую точность и надежность получаемых данных при оптимальных затратах.

2 Материалы и методы

Специализированная многокамерная фотоустановка (СМФ) для съемки лиц предназначена для одномоментного получения с различных ракурсов высококачественных изображений, которые затем будут использоваться для построения трехмерных моделей лица и оценки асимметрии лица человека по этим моделям. При этом оцениваться должны как отдельные модели, так и результаты сравнений этих моделей. Соответственно, среднеквадратическая ошибка (СКО), с которой будет производиться оценка асимметрии (m_A) отдельной модели, будет определяться такими параметрами (1): СКО измерений, которую позволяет получить установка (m_{xy}, m_z), случайные ошибки, которые возникают при съемке живого лица (вариабельность) (m_v). А результаты сравнений моделей m_D (т. е. динамика изменений) будут еще отягощены систематическими ошибками, которые возникают при приведении всех моделей к единой системе координат (СК) первой модели (m_o). Общие формулы можно представить в следующем виде:

$$1 \quad \bullet \quad m_A = \sqrt{m_{xy}^2 + m_z^2 + m_v^2};$$

$$2 \quad \bullet \quad m_D = \sqrt{m_{A1}^2 + m_{A2}^2 + m_o^2}.$$

2.1 Расчет параметров установки

При расчете геометрических параметров СМФ учитывалось следующее. Во-первых, снимков должно быть необходимо и достаточно для того, чтобы фотограмметрическая модель получалась без так называемых мертвых зон. А это значит, что изображение любой части лица должно быть получено не менее трех раз. Во-вторых, ракурс снимка зависит от положения камеры на станине (раме) в момент фотографирования. В-третьих, определение необходимого количества снимков напрямую влияет на стоимость установки и ресурсы для обработки.

Для проектирования оптимальных параметров установки использовались методы моделирования съемки в Blender3D. Для расчета минимально необходимого количества снимков была использована формула угла конвергенции [12]

$$3 \quad \bullet \quad \gamma = \frac{\Omega(100-p)}{100},$$

где Ω — центральный угол между направлениями в пределах «эффективного сектора»; p — требуемое перекрытие, которое примем за 60 %.

Угол Ω рассчитывается по формуле

$$4 \quad \bullet \quad \Omega = 2[45^\circ - \arcsin(\sin 45^\circ R/D)],$$

где R — радиус головы, равный 200 мм; D — расстояние от точки фотографирования до центра головы, равное 700 мм.

Расчеты показали, что угол конвергенции должен составлять около 27° для одного маршрута съемки. При съемке в два маршрута угол увеличивается до 30°. Для съемки участка «от уха до уха» (150°) необходимо 5 камер на одном маршруте, 10 камер для двух маршрутов [10] или 15 камер для трех маршрутов.

2.2 Предрасчет точности измерений по снимкам, полученным с помощью СМФ

Для выполнения фотограмметрической обработки важно заранее оценить точность определения координат точек объекта. Предрасчет точности определения координат точек объекта был выполнен на основе теоретических формул и исходных данных. Точность определения координат объекта в пространстве стереофотограмметрическим способом зависит от базиса съемки (B), фокусного расстояния (f), угла конвергенции (γ), расстояния до объекта (D) и ошибки измерения координат и продольных параллаксов изображений точек на стереопаре снимков параметров ($m_{x,y} \times m_p$).

Для оценки точности используются следующие формулы [12]:

– СКО по глубине

$$5 \quad m_Z = \frac{m_p \times D}{B \sin \gamma};$$

– СКО в плане

$$6 \quad m_{X,Y} = \frac{m_{x,y} \times D}{f}.$$

Эти формулы основаны на геометрии треугольника, образованного базисом съемки, фокусным расстоянием и расстоянием до объекта, и показывают СКО фотограмметрической засечки при съемке конвергентным способом.

Существует еще одна методика для оценки точности по глубине и в плане в конвергентной съемке. В этой методике используется классическая формула предрасчета точности определения координат с добавлением коэффициента для конвергентного случая съемки $q = 0,5$. Этот коэффициент основан на исследованиях Д.А. Никишина [13] и других авторов, которые экспериментально установили, что точность по глубине и в плане в конвергентной съемке увеличивается в 1,5–2 раза.

Таким образом, формулы для расчета точности принимают следующий вид:

– СКО по глубине

$$7 \quad m_Z = \frac{D}{b} \cdot m_p \cdot q;$$

– СКО в плане

$$8 \quad m_{X,Y} = \frac{D}{f} \cdot m_{x,y} \cdot q.$$

Этот подход позволяет более точно оценить погрешности в конвергентной съемке, учитывая специфику данного метода.

2.3 Определение точности измерений по тест-объекту

Для контроля определенных параметров и определения реальной точности измерений, которые можно получить по снимкам и построенной модели, использовались съемки экспериментального тест-объекта — гипсовой головы с марками (рис. 1). На поверхности тест-объекта были размещены 35 двенадцатибитных кодированных маркеров, между которыми выполнили измерение 52 контрольных отрезков. Промеры выбирались как длинные (от 19 см), так и короткие (до 3 см), в вертикальном и горизонтальных направлениях. Измерения проводились с использованием электронного штангенциркуля. Для повышения точности были вычислены средние значения каждого отрезка.

Замаркированная гипсовая голова / The marked plaster head

Расположение контрольных промеров / The location of the reference dimensions

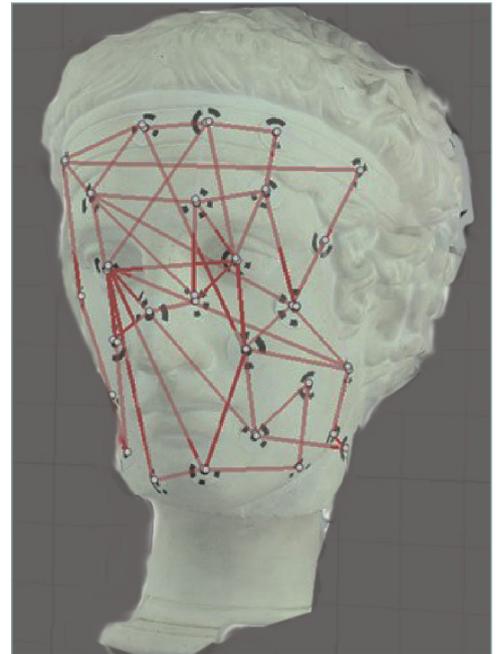


Рис. 1  Замаркированная гипсовая голова и расположение контрольных промеров на ней
Fig. 1 The marked plaster head and the location of the reference dimensions on the head

2.4 Способы приведения моделей к единой СК

Основной проблемой сравнительного анализа моделей лица является тот факт, что человек — это не гипсовый слепок, а динамичный объект. Это значит, что, во-первых, невозможно повторить позу пациента при пролонгированном мониторинге, во-вторых, требуется сравнивать лица при выполнении мимических упражнений (проб), в-третьих, отсутствует необходимое количество (три и более) устойчивых анатомических ориентиров на лице. В результате возникают ошибки, причиной которых являются линейные сдвиги и углы между моделями. Для минимизации этих погрешностей исследуемые модели серии приводятся к референсной модели. За референсную модель принимается модель лица пациента в спокойном состоянии первой серии съемок.

Существует три алгоритма для приведения всех моделей к единой СК.

Первый способ — по связующим точкам

Приведение в единую СК основано на сопоставлении связующих точек, извлеченных из изображений двух разновременных блоков. Алгоритм находит соответствия между точками из разных блоков, обычно выполняется путем определения разницы между двумя облаками точек (например, CloudtoCloud — C2C) для определения их местоположения и ориентации [14, 15]. После нахождения пар точек определяется трансформация, минимизирующая расхождения между ними. Методом Iterative Closest Point (ICP) осуществляют дальнейшую оптимизацию связи, уточняя положение блоков [16].

Второй способ — по опорным точкам

В этом методе используются опорные точки, которые измеряются на изображениях первой съемки. Алгоритм распознает эти точки на изображениях второй и последующих съемок и определяет их положение в 3D-пространстве. Затем присваивает им координаты референсной модели, рассчитывает параметры преобразования Гельмерта и пересчитывает координаты остальных точек [16].

Третий способ — по элементам внешнего ориентирования камер

Этот метод использует информацию о положении и ориентации камер, которые применялись для съемки. Алгоритм анализирует данные о расположении

камер и на основе этого определяет, как блоки изображений должны быть сориентированы относительно друг друга. Начальное приведение в единую СК по элементам внешнего ориентирования камер создает общее представление о сцене, после чего метод ИСР уточняет положение блоков.

Поскольку человек не способен воспроизводить одно и то же положение относительно стенда через значительный промежуток времени, начальное приближение работает неэффективно, что негативно сказывается на дальнейшем приведении данных в единую СК. Таким образом, данный метод не подходит для случая, когда положение объектов относительно центров проекций камер изменяется от съемки к съемке.

Для сравнения качества ориентирования в единую СК первым и вторым способами была проведена съемка одного человека (с надутыми щеками и в спокойном состоянии) дважды с промежутком в 30 дней. Полученные полигональные модели были ориентированы в СК первой модели первой съемки. Затем производилось вычитание для каждого из методов: из моделей второй серии съемок (24 — надуть щеки, 21 — спокойное состояние) вычитали соответствующие модели первой серии съемок (14 — надуть щеки, 11 — спокойное состояние). Разность определялась как кратчайшее расстояние между двумя моделями, нормали восстанавливались из референсной модели к поверхности сравниваемой модели.

3 Результаты и обсуждение

На этапе проектирования при выборе расположения камер производилась оценка качества построения моделей по гипсовому слепку. Анализировалось качество построения моделей при разных комбинациях маршрутов камер. Все фотограмметрические процессы обработки производились в ПО Agisoft Metashape Pro. При использовании всех трех рядов камер модель отображает все участки лица с равномерной плотностью сетки треугольников, чего нет при съемке только двумя рядами. Тем не менее использование только двух нижних рядов камер возможно для анализа нижней области лица, что важно при лечении (в том числе оперативном) челюстных заболеваний. Если использовать два верхних ряда камер, соответственно, получаются удовлетворительные результаты для верхней части лица, но в области подбородка образуются мертвые зоны (рис. 2).

Сравнение моделей показало, что среднеквадратичное отклонение расстояний между поверхностями моделей, построенных по двум и трем маршрутам, не превышает 0,2 мм, но расхождения в области подбородка достигают 3 мм при съемке только двумя верхними маршрутами (рис. 2).

С точки зрения времени обработки использование трех маршрутов требовало больше времени на обработку снимков до построения модели и ортофотоплана, чем использование двух маршрутов. Несмотря на небольшие различия в геометрических параметрах моделей и явное преимущество в скорости обработки (обработка двух маршрутов на 172 % быстрее), плотность триангуляционной

Рис. 2 
Построенные модели
Fig. 2
Built models

По двум верхним маршрутам /
By two upper routes



По верхнему и нижнему маршрутам / By upper and lower routes



По двум нижним маршрутам /
By two lower routes



По двум верхним маршрутам, вид снизу / By two upper routes, bottom view

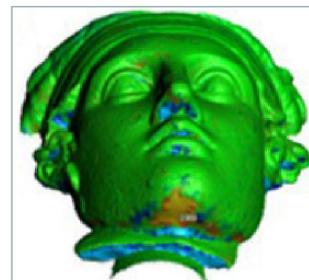


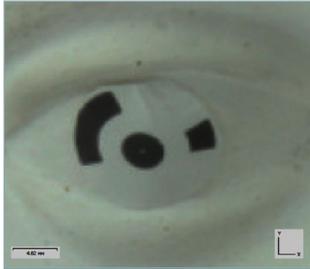
Рис. 3 ✓

Фрагменты ортофотоплана

Fig. 3

Fragments of the orthophoto

Фрагмент, построенный по 15 изображениям / Fragment of the orthophoto constructed from 15 images



Фрагмент, построенный по 10 изображениям / Fragment of the orthophoto constructed from 10 images

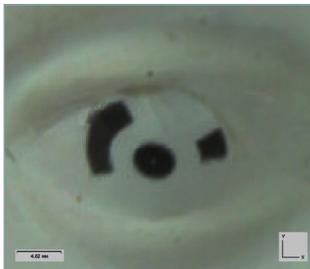
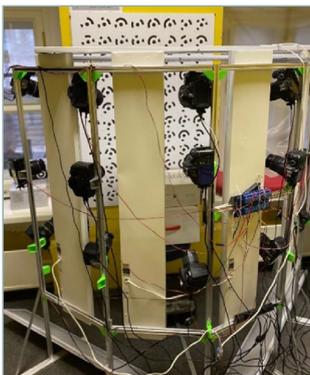


Рис. 4 ✓

Специализированная многофункциональная фотограмметрическая установка

Fig. 4

Specialised multifunctional photogrammetric installation



модели и размеры пикселей цифровой модели поверхности и ортофотоплана различаются. Размер пикселя составляет 0,19 мм для ортофотоплана, построенного по 15 снимкам, и 0,21 мм для ортофотоплана, построенного по 10 снимкам. При таком незначительном различии качество ортофотоплана, построенного по 10 снимкам, ниже, что заметно невооруженным глазом (рис. 3). Для визуального анализа текстуры лица это имеет значение.

В связи с этим для создания моделей было решено использовать все три ряда камер, что позволяет минимизировать мертвые зоны и повысить плотность триангуляции и качество ортофотоплана. В итоге была создана СМФ, которая представляет собой жесткую раму в форме полуцилиндра с радиусом 700 мм (рис. 4). На этой раме установлены 15 цифровых фотографических камер Canon EOS 550D и осветительное оборудование. Камеры имеют размер сенсора 5184×3456 пикселей, фокусное расстояние $f = 55$ мм и физический размер пикселя 0,0043 мм. Номинальный размер пикселя составляет $d = 0,06$ мм. В качестве источников освещения используются 12 светодиодных панелей, которые обеспечивают равномерное освещение всего объекта съемки и поддерживают фиксированную цветовую температуру для стабильности цветопередачи.

Управление процессом фотографирования осуществляется через группу реле, что позволяет точно синхронизировать время получения изображений. Это решение предпочтительнее по сравнению с программами удаленного управления, использующими USB-протокол, поскольку оно обеспечивает минимальную погрешность времени экспонирования (не более 1/100 секунды). Такая организация съемки исключает влияние неконтролируемой работы мимических мышц на разных снимках.

Для предварительной оценки точности конвергентной съемки были использованы следующие исходные данные. Расстояние D до объекта съемки (головы пациента) определяется как разность между радиусом установки камеры и средним радиусом головы человека. Радиус установки — 700 мм. Средний радиус головы рассчитывается на основе окружности: для мужчин он равен 560 мм (что соответствует радиусу примерно 89 мм), а для женщин — 540 мм (радиус — около 86 мм). В итоге средний радиус головы взрослого человека составляет примерно 87,5 мм. Таким образом, расстояние до объекта съемки вычисляется как $700 \text{ мм} - 87,5 \text{ мм} = 612,5 \text{ мм}$. Округляя, получаем значение $D = 613$ мм.

Базис съемки $B = 385$ мм, угол конвергенции $\gamma = 30^\circ$, СКО координат и продольных параллаксов изображений точек на стереопаре снимков 0,5 пикселя, или 0,03 мм.

СКО определения координат рассчитывалась по формулам (5), (6): $m_z = 0,95$ мм, $m_{x,y} = 0,1$ мм; по формулам (7, 8): $m_z = 0,53$ мм, $m_{x,y} = 0,1$ мм.

Расчеты показывают, что по изображениям СМФ можно получить измерения в пределах 1 мм по глубине и на порядок точнее в плане, что сопоставимо с отечественными и зарубежными аналогами.

Точность тестовой модели оценивалась по измерениям 52 контрольных отрезков, выполненных по фотограмметрической (монокулярно по снимкам) и полигональной моделям, чтобы оценить также влияние интерполяции на результат измерений. СКО на отрезках составила 1,0 мм для фотограмметрической модели и 0,96 мм для полигональной модели, что можно считать равнозначными измерениями. Полученные таким образом результаты соответствуют предварительным расчетам.

3.1 Определение диапазона случайных ошибок, вызванных принципиальной нестатичностью (вариабельностью) человеческого лица

Данное исследование было произведено ранее и подробно описано в [10]. Отметим методику определения нестатичности лицевых мышц и результат, который необходимо использовать в настоящем исследовании.

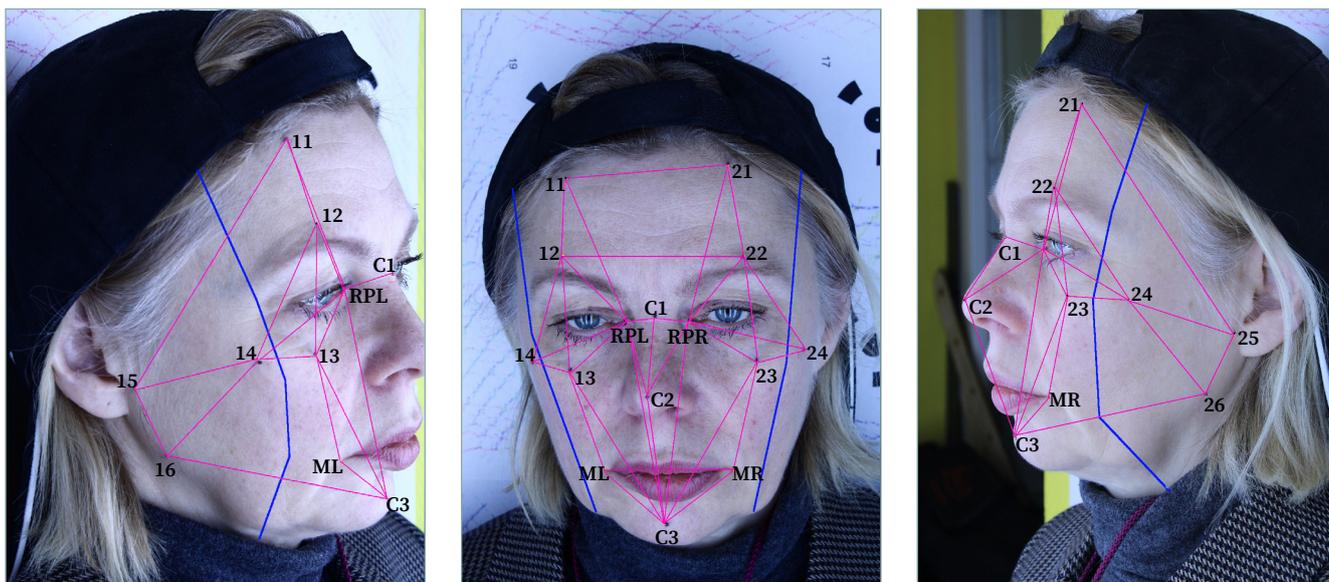


Рис. 5  Расположение маркированных точек и контрольных отрезков на лице (фронтальная область лица выделена синими линиями) [10]

Fig. 5 Location of labelled points and control segments on the face (the facial frontal region is highlighted by blue lines) [10]

На лице были выбраны 19 точек (замаркированные и естественные контуры), по координатам которых были вычислены 44 отрезка (рис. 5). Всего было проведено 10 съемок с временными промежутками. Вариабельность определялась посредством сравнения длин 44 отрезков по моделям лица. Положение отрезков выбиралось путем изучения подобных исследований [9, 17, 18]. За референсную была принята первая модель из серии.

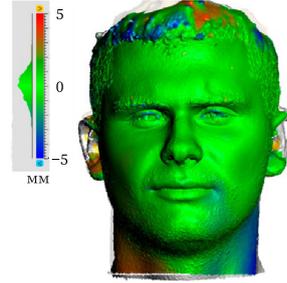
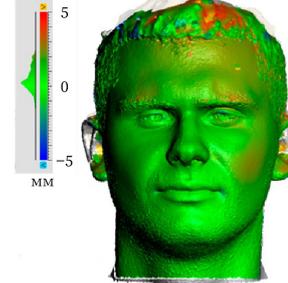
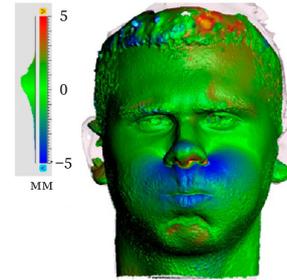
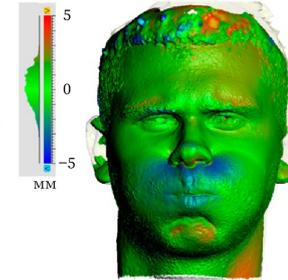
При анализе контрольных отрезков между маркированными точками были выявлены устойчивые и неустойчивые части лицевых мышц. Полученные данные индивидуальны, однако они согласуются с подобными зарубежными исследованиями [6, 9]. СКО определения вариабельности составила 0,47 мм.

3.2 Определение систематических ошибок, вызванных приведением моделей к единой СК

Обнаружение изменений обычно выполняется путем определения разницы между двумя облаками точек (C2C), либо между двумя ЦМР (DoD — DEMsofdifference), либо между двумя моделями (M3C2) [14]. M3C2 и DoD являются предпочтительными методами для определения изменения высоты и объемных изменений соответственно. Однако методы DoD могут оказаться неспособными правильно отобразить участки с крутым рельефом (например, область носа или подбородка), что и было выявлено в работе [10]. Поэтому для определения качества ориентирования был использован M3C2, который стал стандартным методом оценки топографических изменений, поскольку был специально разработан для применения на сложных участках.

В табл. 1 представлены результаты сравнения моделей, которые были приведены в единую СК двумя способами: по опорным точкам и по связующим точкам. СКО разностей моделей составляют 1,4 мм, 1,2 мм, 1,3 мм и 1,1 мм соответственно. Оба метода, по данным статистики, имеют практически одинаковые результаты. Но очевидна визуальная разница распределения этих ошибок, которая выявляет слабость способа «по связующим точкам» с точки зрения приведения моделей в единую СК. Так, при ориентировании модели 21 относительно 11 присутствует систематическая ошибка лица: в табл. 1 эти расхождения выделены оранжевым цветом на лбу и щеке модели (см. результат приведения в единую СК по связующим точкам). Это связано с неопределенностью нахождения соответственных точек на разных моделях, которое зависит от исходных элементов внешнего ориентирования и от плотности точек на каждой модели [15] при использовании метода C2C при совмещении облаков.

Таблица 1 
 Результаты приведения
 трехмерных моделей
 в единую СК
Table 1
 Results of adjustment of three-
 dimensional models into a single
 coordinate system

	По опорным точкам	По связующим точкам
21–11	СКО 1,2 мм 	СКО 1,1 мм 
24–14	СКО 1,4 мм 	СКО 1,3 мм 

Поэтому при сравнении разновременных моделей рекомендуется использовать алгоритмы ориентирования, основанные на использовании опорных ориентиров. Для расчетов общей ошибки будем использовать СКО, вычисленную для моделей, ориентированных по опорным точкам.

В соответствии с выполненными исследованиями вычислим оценку точности стереофотограмметрического метода определения асимметрии лица человека. СКО измерений по отдельной трехмерной модели лица человека составляет

9 

$$m_f = \sqrt{m_{xyz}^2 + m_v^2} = 1,1 \text{ мм.}$$

Общая СКО определений при сравнении разновременных, но приведенных к единой СК моделей (m_D) вычисляется по формуле (2) и составляет порядка 2 мм; максимальная величина, равная $2СКО = 4$ мм.

Ошибка по высоте, вызванная погрешностями ориентирования, приводит к ошибочным результатам в плановом положении изменений, что можно увидеть в табл. 1 при сравнении моделей с надутыми щеками. Очевидны различия в площадях изменений (синий цвет на модели).

В работе [14] для оценки изменений в рельефе применяется параметр LoD (Level of Detection), так называемый уровень обнаружения, который может быть вычислен по формуле

10 

$$LoD_{95} = t \left(\sqrt{m_{f1}^2 + m_{f2}^2} + reg \right),$$

где t — значение доверительного интервала;
 m_{f1} и m_{f2} — СКО для двух моделей;
 reg — потенциальное систематическое смещение.

Значения LoD обычно рассчитываются для 95-процентного уровня доверия, для которого, согласно t -распределению, $t = 1,96$. Смысл этого параметра в том, что изменения, меньшие, чем заданный LoD , могут быть проигнорированы. Поскольку модели строятся по единой технологии и одинаковыми датчиками, то $m_{A1} = m_{A2}$. Учитывая остаточную систематическую ошибку приведения в единую СК, $LoD \approx \pm 5$ мм. Таким образом, для визуализации изменений рельефа по разницам моделей лица рекомендуется выбирать шаг измерений в 5 мм.

4 Выводы

Исследование имело своей целью, во-первых, рассчитать параметры СМФ для получения трехмерных моделей лица живого человека, во-вторых, определить источники ошибок, которые неизбежно возникают при моделировании лица живого человека при пролонгированном лечении, и на основе этих определений рассчитать реальный диапазон ошибок, ожидаемый при съемке СМФ. Основные результаты следующие:

1. Высокая точность, которую обеспечивает стереофотограмметрический метод, позволяет воспроизводить формы рельефа лица (с учетом нестатичности) с точностью, не превышающей 1,5 мм.
2. Основным источником ошибок при сравнительном анализе разновременных моделей являются остаточные угловые элементы, возникающие при ориентировании моделей в СК первой модели. Очевидно, что имеющиеся алгоритмы автоматического взаимного ориентирования моделей по связующим точкам, которые имеются в ПО Agisoft Metashape Pro, недостаточно качественно рассчитывают параметры трансформирования. Величина этих ошибок соразмерна точности модели, т. е. составляет порядка 1,2–1,4 мм.
3. На данный момент исследований достоверно оценить динамику изменения лица по разностям моделей можно, если изменения по высоте (выпуклость) не менее 5 мм.

Несмотря на то, что и такие результаты удовлетворяют потребностям клиницистов, их можно улучшить дополнительными алгоритмами уточнения по естественным устойчивым ориентирам. Отдельной задачей является приведение в соответствие измерений по моделям и привычных медицинских показателей и индексов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Ряховский А.Н., Левицкий В.В. Система 3D-визуализации лица и зубных рядов // Панорама ортопедической стоматологии. 2008. № 1. С. 2–4.
2. Кожевникова М.И., Михайлов А.П., Скрыпичина Т.Н. и др. Визуализация рельефа тела человека методом стереофотограмметрии и количественная оценка его параметров // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2012. Т. 154. № 10. С. 525–528.
3. Ort R., Metzler P., Kruse AL., et al. The Reliability of a Three-Dimensional Photo System- (3dMDface-) Based Evaluation of the Face in Cleft Lip Infants // Plastic Surgery International. 2012. 138090. DOI:10.1155/2012/138090.
4. Небаба С.Г., Захарова А.А. Применение алгоритма формирования индивидуальной трехмерной модели человеческого лица в системе распознавания личности по изображению лица // Сборник трудов 26-й Международной конференции GraphiCon2016 (Нижний Новгород, 19–23 сентября 2016 г.). Н. Новгород: ИФТИ, ННГАСУ, 2016. С. 310–313.
5. Pesce M., Galantucci L.M., Lavecchia F.A. 12-camera body scanning system based on close-range photogrammetry for precise applications // Virtual and Physical Prototyping. 2016. Vol. 11. No. 1. P. 49–56. DOI:10.1080/17452759.2015.1101872.
6. Othman S.A., Saffai L., Wan Hassan W.N. Validity and reproducibility of the 3D VECTRA photogrammetric surface imaging system for the maxillofacial anthropometric measurement on cleft patients // Clinical Oral Investigations. 2020. Vol. 24. P. 2853–2866. DOI:10.1007/s00784-019-03150-1.
7. Zhuang J., Ma H., Wang C., et al. Applying 3D scanning to evaluate facial symmetry in Asian populations // Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery. 2024. Vol. 99. P. 11–17. DOI:10.1016/j.bjps.2024.09.025.
8. Nord F., Ferjencik R., Seifert B., et al. The 3dMD photogrammetric photo system in craniomaxillofacial surgery: Validation of interexaminer variations and perceptions // Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 2015. Vol. 43. No. 9. P. 1798–1803. DOI:10.1016/j.jcms.2015.08.017.
9. Savoldelli C., Benat G., Castillo L., et al. Accuracy, repeatability and reproducibility of a handheld three-dimensional facial imaging device: the Vectra H1 // Journal

- of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery. 2019. Vol. 120. No. 4. P. 289–296. DOI:10.1016/j.jormas.2019.03.012.
10. Скрыпицына Т.Н., Дрыга Д.О., Журкин И.Г. и др. Особенности применения и оценка точности фотограмметрического метода в доказательной медицине // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67. № 4. С. 32–44. DOI:10.30533/GiA-2023-019.
 11. Shah P.B., Luximon Y. Review on 3D scanners for head and face modeling // Digital Human Modeling. Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management: Ergonomics and Design: Proceedings of 8th International Conference (Vancouver, BC, Canada, July 9–14, 2017). Cham: Springer International Publishing, 2017. P. 47–56. DOI:10.1007/978-3-319-58463-8_5.
 12. Дрыга Д.О. Разработка методики съемки объектов культурного наследия для информационных систем музеев Российской Федерации: дис. ... канд. техн. наук. М., 2020. 138 с.
 13. Никишин Д.А. Разработка и исследование методов цифровой наземной стереофотограмметрической съемки: дис. ... канд. техн. наук. М., 2004. 159 с.
 14. Lague D., Brodu N., Leroux J. Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z) // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2013. Vol. 82. P. 10–26. DOI:115610.1016/j.isprsjprs.2013.04.009.
 15. James M.R., Robson S., Smith M.W. 3-D uncertainty-based topographic change detection with structure-from-motion photogrammetry: precision maps for ground control and directly georeferenced surveys // Earth Surface Processes and Landforms. 2017. Vol. 42. No. 12. P. 1769–1788. DOI:10.1002/esp.4125.
 16. Маковецкий А.Ю., Воронин С.М., Тихоньких Д.В. и др. Точные решения вариационной задачи алгоритма ICP в классе аффинных преобразований // Челябинский физико-математический журнал. 2017. Т. 2. № 3. С. 282–294.
 17. Sforza C., Dellavia C., Rosati R., et al. Three-dimensional facial morphometry: from anthropometry to digital morphology // Handbook of Anthropometry: Physical Measures of Human Form in Health and Disease. Springer. 2012. P. 611–624. DOI:10.1007/978-1-4419-1788-1_32.
 18. Zhou S., Xiao S. 3D face recognition: a survey // Human-centric Computing and Information Sciences. 2018. Vol. 8. No. 35. P. 1–27. DOI:10.1186/s13673-018-0157-2.

АВТОРЫ **Скрыпицына Татьяна Николаевна**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра фотограмметрии, геодезический факультет
канд. техн. наук, доцент
 0000-0003-4964-9196

Уколова Алина Владимировна

 gapizer@mail.ru
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра фотограмметрии, геодезический факультет
 0000-0002-4836-6605

Дрыга Данила Олегович

 dryga_do@pfur.ru
ФГБОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Россия
кафедра механики и процессов управления, Инженерная академия
канд. техн. наук
 0000-0003-0557-2481

Поступила 20.01.2025. Принята к публикации 21.02.2025. Опубликовано 28.02.2025.



To the question of accuracy and sources of errors appeared at modelling of a human face by stereophotogrammetric method

Tatyana N. Skrypitsyna¹✉, Alina V. Ukolova¹, Danila O. Dryga²

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

² Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

✉ mola_mola@rambler.ru

CITATION Skrypitsyna TN, Ukolova AV, Dryga DO. To the question of accuracy and sources of errors appeared at modelling of a human face by stereophotogrammetric method. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(1): 50–63. DOI:10.30533/GiA-2025-009.

KEYWORDS specialized multifunctional photographic installation, three-dimensional facial models, accuracy estimation, variability

ABSTRACT Multicamera photographic systems for creating three-dimensional models of the human body produced abroad are used in medical institutions for plastic surgery and orthodontics. These systems provide high accuracy up to 0.5 mm, but the cost of such solutions can be significant, which limits their availability for public medical centres. This high accuracy of photogrammetric technologies is achieved by sensors that provide highly detailed imaging and rigorous photogrammetric processing algorithms. At the same time, the important task of face shape estimation to analyse its asymmetry is not fully solved. The paper presents the experience of developing a 15-camera photogrammetric system designed for quantitative estimation of human face shape changes. The sources of errors, which inevitably occur when modelling the face of a living person, have been analysed, the real range of errors, which should be expected when shooting with a specialised multicamera photographic systems, has been calculated. As a result, it was determined that the accuracy provided by the stereophotogrammetric method allows to reproduce the facial relief forms (taking into account the variability) with an accuracy not exceeding 1.5 mm. The error introduced by the process of bringing the models into a coherence system of coordinates of the first model is of the order of 1.2–1.4 mm, and the dynamics of facial changes can be reliably assessed if the changes in height (convexity) are not less than 5 mm. These results meet the needs of clinicians, but can be improved by improving the algorithms of mutual orientation of models into a coherence system of coordinates.

- REFERENCES**
1. Ryakhovskiy AN, Levitskiy VV. Sistema 3D-vizualizatsii licaizubnyhrjadov [System of 3D-visualisation of a face and dental rows]. *Panorama of orthopaedic stomatology*. 2008;1: 2–4. (In Russian).
 2. Kozhevnikova MI, Mikhailov AP, Skrypitsyna TN, et al. Vizualizatsiya rel'efa tela cheloveka metodom stereofotogrammetrii i kolichestvennaja ocenka ego parametrov [Visualisation of human body relief by stereophotogrammetry and quantitative assessment of its parameters]. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2012;154(10): 525–528. (In Russian).
 3. Ort R, Metzler P, Kruse AL, et al. The Reliability of a Three-Dimensional Photo System- (3dMDface-) Based Evaluation of the Face in Cleft Lip Infants. *Plastic Surgery International*. 2012: 138090. DOI:10.1155/2012/138090.
 4. Nebaba SG, Zakharova AA. Primenenie algoritma formirovaniya individual'noj trehmernoj modeli chelovecheskogo lica v sisteme raspoznavaniya lichnosti po izobrazheniju lica [Application of the algorithm of formation of individual three-dimensional model of human face in the system of personality recognition by face image]. *Proceedings of the 26th International Conference GraphiCon 2016 (Nizhny Novgorod, September 19–23, 2016)*. Nizhny Novgorod: IFTI, NNGASU; 2016: 310–313. (In Russian).
 5. Pesce M, Galantucci LM, Lavecchia FA. 12-camera body scanning system based on close-range photogrammetry for precise applications. *Virtual and Physical Prototyping*. 2016;11(1): 49–56. DOI:10.1080/17452759.2015.1101872.
 6. Othman SA, Saffai L, Wan Hassan WN. Validity and reproducibility of the 3D VECTRA photogrammetric surface imaging system for the maxillofacial anthropometric measurement on cleft patients. *Clinical Oral Investigations*. 2020;24: 2853–2866. DOI:10.1007/s00784-019-03150-1.
 7. Zhuang J, Ma H, Wang C, et al. Applying 3D scanning to evaluate facial symmetry in Asian populations. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. 2024;99: 11–17. DOI:10.1016/j.bjps.2024.09.025.
 8. Nord F, Ferjencik R, Seifert B, et al. The 3dMD photogrammetric photo system in craniomaxillofacial surgery: Validation of interexaminer variations and perceptions. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2015;43(9): 1798–1803. DOI:10.1016/j.jcms.2015.08.017.
 9. Savoldelli C, Benat G, Castillo L, et al. Accuracy, repeatability and reproducibility of a handheld three-dimensional facial imaging device: the Vectra H1. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*. 2019;120(4): 289–296. DOI:10.1016/j.jormas.2019.03.012.
 10. Skrypitsyna TN, Dryga DO, Zhurkin IG, et al. Osobennosti primeneniya i ocenka tochnosti fotogrammetricheskogo metoda v dokazatel'noj medicine [Specifics of application and accuracy assessment of the photogrammetric method in evidence-based medicine]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2023;67(4): 32–44. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2023-019.
 11. Shah PB, Luximon Y. Review on 3D scanners for head and face modeling. Digital Human Modeling. Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management: *Ergonomics and Design: Proceedings of 8th International Conference (Vancouver, BC, Canada, July 9–14, 2017)*. Cham: Springer International Publishing; 2017: 47–56. DOI:10.1007/978-3-319-58463-8_5.
 12. Dryga DO. *Razrabotka metodiki s'emki ob'ektov kul'turnogo nasledija dlja informacionnyh sistem muzeev Rossijskoj Federacii* [Development of the methodology of surveying the objects of cultural heritage for the information systems of museums of the Russian Federation] [dissertation]. Moscow, 2020. 138 p. (In Russian).
 13. Nikishin DA. *Razrabotka i issledovanie metodov cifrovoj nazemnoj stereofotogrammetricheskoy s'emki* [Development and research of the methods of digital ground stereophotogrammetric surveying] [dissertation]. Moscow, 2004. 159 p. (In Russian).
 14. Lague D, Brodu N, Leroux J. Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2013;82: 10–26. DOI:1156 10.1016/j.isprsjprs.2013.04.009.
 15. James MR, Robson S, Smith MW. 3-D uncertainty-based topographic change detection with structure-from-motion photogrammetry: precision maps for ground control

- and directly georeferenced surveys. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2017;42(12): 1769–1788. DOI:10.1002/esp.4125.
16. Makovetsky AYu, Voronin SM, Tikhon'kikh DB, et al. Tochnye reshenija variacionnoj zadachi algoritma ICP v klasse affinnyh preobrazovanij [Exact solutions of the variational problem of the ICP algorithm in the class of affine transformations]. *Chelyabinsk Physical and Mathematical Journal*. 2017;2(3): 282–294. (In Russian).
 17. Sforza C, Dellavia C, Rosati R, et al. Three-dimensional facial morphometry: from anthropometry to digital morphology. *Handbook of Anthropometry: Physical Measures of Human Form in Health and Disease*. Springer, 2012. 611–624. DOI:10.1007/978-1-4419-1788-1_32.
 18. Zhou S, Xiao S. 3D face recognition: a survey. *Human-centric Computing and Information Sciences*. 2018;8(35): 1–27. DOI:10.1186/s13673-018-0157-2.

AUTHORS Tatyana N. Skrypitsyna

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Photogrammetry Department, Faculty of Geodesy
PhD in Engineering, Associate Professor
 0000-0003-4964-9196

Alina V. Ukolova

 gapizer@mail.ru
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Photogrammetry, Faculty of Geodesy
 0000-0002-4836-6605

Danila O. Dryga

 dryga_do@pfur.ru
Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
Department of Mechanics and Control Processes, Academy of Engineering
PhD in Engineering
 0000-0003-0557-2481

Submitted: January 20, 2025. Accepted: February 21, 2025. Published: February 28, 2025.



Визуализация данных о морфологических особенностях кольцевых структур на примере метеоритного кратера Цэнхэр (Гобийский Алтай)

С.Н. Абдульмянов^{1,2}✉, С. Хадбаатар³, И.К. Семеренко²

¹ Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

² Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, Россия

³ Монгольский государственный университет образования, Улан-Батор, Монголия

✉ abdulmyanov@gmail.com

ЦИТИРОВАНИЕ Абдульмянов С.Н., Хадбаатар С., Семеренко И.К. Визуализация данных о морфологических особенностях кольцевых структур на примере метеоритного кратера Цэнхэр (Гобийский Алтай) // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 1. С. 64–89. DOI:10.30533/GiA-2025-004.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА поверхность, спутниковые данные, геоморфологические особенности, полевые методы исследований, кольцевые структуры, астроблема, светотеневая отмывка, изображение форм рельефа на картах

АННОТАЦИЯ Многие из известных импактных структур обнаружены благодаря анализу характерных морфологических признаков с использованием геоинформационных систем (ГИС) и данных дистанционного зондирования. Спутниковые данные и возможности ГИС позволяют провести дешифрирование, визуальную оценку метеоритных кратеров и представить особенности морфологии объектов. Однако структурным формам не всегда соответствуют явные морфологические выражения. Морфологические признаки многих геологических объектов, хорошо просматривающиеся при анализе спутниковых снимков и отображающиеся на картах, могут быть совершенно не очевидными при прохождении полевых маршрутов и проведении глазомерной съемки. Это актуально и для выделения астроблем, среди значительного количества которых лишь небольшая часть обладает явными морфологическими особенностями. Импактные структуры различаются сохранностью, обусловленной особенностями деформации, степенью разрушения поверхности, условиями захоронения и топографической открытостью. В результате проведения полного цикла исследовательских работ (изучение геоморфологии, литологии, петрографии, полевые работы с прохождением маршрутов, съемка, отбор образцов

и их камеральная обработка) становится возможным диагностировать генезис астероидных кратеров. На примере метеоритных кратеров можно проследить разные по степени сложности задачи дешифрирования кольцевых структур. Кольцевые структуры хорошей сохранности являются примерами визуализации данных и наглядного представления рельефа поверхности.

1 Введение

Широко распространенные кольцевые структуры представляют собой объекты различного масштаба, генезиса, возраста и сохранности. Многие из этих форм обладают яркими морфологическими чертами, являются объектами для детальных инструментальных исследований, визуализации данных и примерами наглядного представления рельефа поверхности.

По размерам (диаметрам) кольцевые структуры могут быть четырех основных групп: мини- (километры), мезо- (десятки километров), макро- (первые сотни километров), мега- (многие сотни и тысячи километров) [1]. Данная классификация основана «на четкой дискретности латеральных параметров структур»¹. Самой многочисленной является первая группа^{2,3}.

По глубине заложения среди кольцевых структур выделяют внутрикоровые, астеносферные (астеноконы), внутримантийные и внутриядерные (геоконы). По мнению ряда исследователей, существует линейная корреляция между поперечником структуры и глубиной ее заложения. По происхождению кольцевые структуры могут быть магматическими структурами, вулканическими постройками, импактными кратерами (астроблемами), карстовыми формами, соляными куполами, объектами, связанными с криогенной деятельностью, и др.

К кольцевым структурам эндогенного происхождения относятся большинство из трех сотен сохранивших округлые очертания вулканов Монголии (эффузивные формы) и хорошо просматривающиеся магматические структуры (интрузивные формы), также встречающиеся в стране в изобилии. Такими заметными объектами являются: вулкан Тогоо-Уул (*монг.* Тогоо уул) в нагорье Хангай, крупные кальдеры Зуун-Бурслуур-Уул и Агтын-Хурээ (*монг.* Зуун бурслуур уул, Агтын хурээ), расположенные в вулканическом плато Дарьганга, на границе Монголии и Китая, и ряд других объектов. Кроме многочисленных эффузивных форм в Монголии встречается большое число магматических образований (интрузий), имеющих и более значительные размеры, округлые очертания, хорошо просматривающихся на космических и аэрофотоснимках. На территории Монголии, вероятно, самая большая структура магматической природы — массив Арц-Богд. Структура расположена на юго-западе страны (координаты: 44,750046° / 95,422581°), ее диаметр составляет более 35 км, высота — 2770 м. Крупной кольцевой магматической структурой Восточной Гоби является массив Хан-Богд. С ним связано уникальное медно-золоторудное месторождение страны — гигант Оюутолгой (*монг.* Оюутолгой; *англ.* Оуу Tolgoi mine). Его координаты: 43,045217° / 107,135434°. Примечательны магматический Индертинский массив, расположенный на южном склоне Монгольского Алтая, и формы, распространенные в долине р. Булган-Гол (*монг.* Булган гол; *каз.* Урумгу), уходящей за пределы страны в Джунгарию. Изображения кольцевых структур эндогенного генезиса представлены на рис. 1–4.

1 Соловьев В.В. Карта морфоструктур центрального типа территории СССР. Масштаб 1 : 10 000 000. 2-е изд. Л.: ВСЕГЕИ, 1982. С. 18.

2 Брюханов В.Н., Буш В.А., Глуховский М.З. и др. Кольцевые структуры континентов Земли. М.: Недра, 1987. 184 с.

3 Ежов Б.В., Худяков Б.И. Морфотектоника геодинамических систем центрального типа. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. 129 с.

Рис. 1 

Вид на хорошо сохранившийся вулкан Тогоо-Уул (1688,2 м), нагорье Хангай, центр Монголии. На снимке обозначены конус (volcanic cone) и кратер вулкана (volcanic crater). Диаметр более 1,5 км, диаметр кратера 0,4 км. Масштаб 1 : 3 000. Координаты: 48,996149° / 102,738402°. Вариант слоя: World Imagery, Esri (версия 2023)

Fig. 1

View of the well-preserved volcano Togoo uul (1688.2 m), Khangai plateau, Central Mongolia. The image shows the cone and crater of the volcano. The diameter is more than 1.5 km, the diameter of the crater is 0.4 km. Scale 1 : 3,000. Coordinates: 48.996149°, 102.738402°. Layer option: World Imagery, Esri, in version 2023

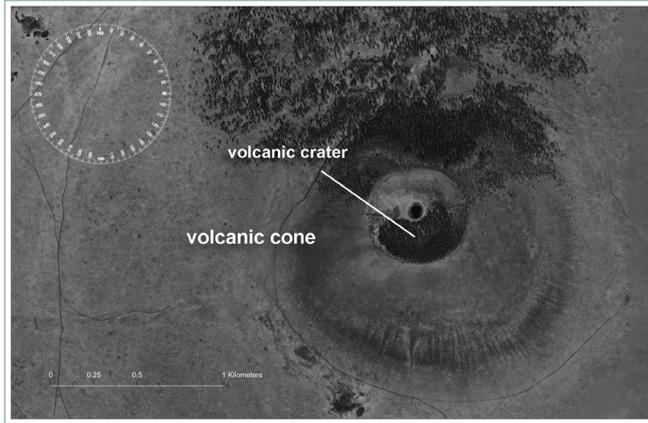


Рис. 2 

Вид на кальдеру Агтын-Хурээ (1478,0 м), плато Дарьганга, юго-восток, граница Китая и Монголии. На снимке обозначены кальдера (volcanic caldera), вулканические купола (volcanic dome & spine) и повреждения контура (rupture). Диаметр более 2 км. Масштаб 1 : 3 000. Координаты: 45,436016° / 114,696679°. Вариант слоя: World Imagery, Esri (версия 2023)

Fig. 2

View of the Agtyn Khuree caldera (1478.0 m), Darganga plateau, southeast, border of China and Mongolia. The image shows the caldera, volcanic domes and damage to the contour. Diameter is more than 2 km. Scale 1 : 3,000. Coordinates: 45.436016°, 114.696679°. Layer option: World Imagery, Esri, in version 2023

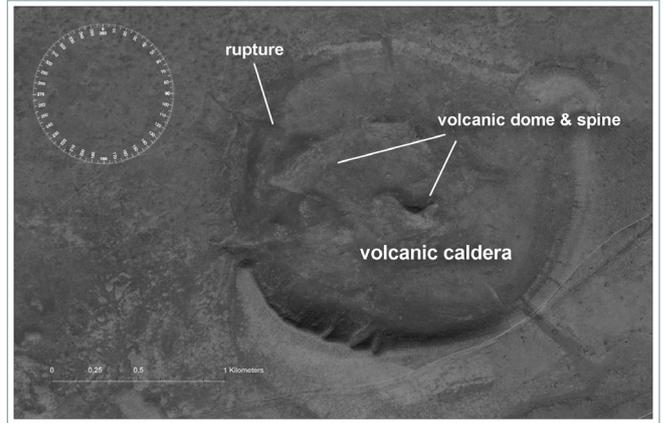


Рис. 3 

Вид на структуру (ring structure) магматической природы Хаан-Богд, юг Монголии. Диаметр 30 км, высота 1178 м. На снимке обозначены вал (rampart), трещины (fractures), месторождение Оюутолгой (Oyu Tolgoi mine). Масштаб 1 : 50 000. Координаты: 43,045217° / 107,135434°. Вариант слоя: World Imagery, Esri (версия 2023)

Fig. 3

View of the magmatic structure of Khaan Bogd, southern Mongolia. Diameter 30 km, height 1178 m. The image shows a swell, cracks, and the Oyuun Tolgoi deposit. Scale 1 : 50,000. Coordinates: 43.045217°, 107.135434°. Layer option: World Imagery, Esri, in version 2023

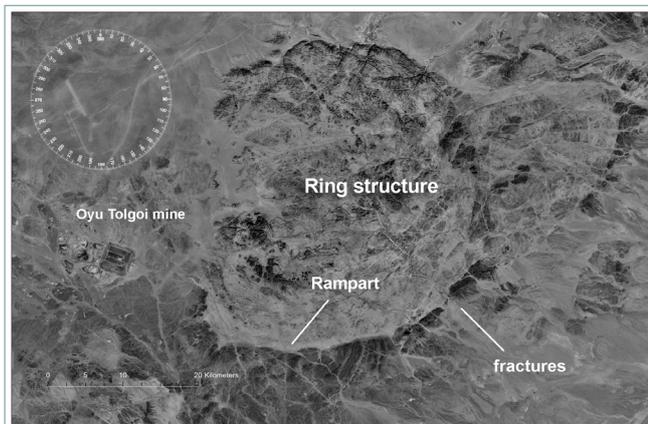
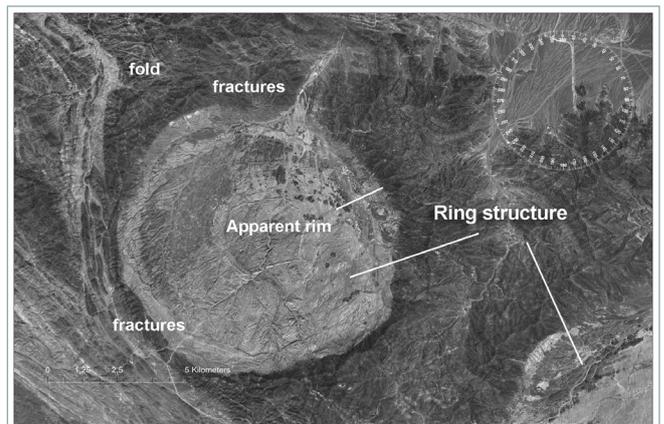


Рис. 4 

Вид на структуру (ring structure) магматической природы (батолит) долины р. Булган-Гол, граница Китая и Монголии. На снимке обозначены вал (apparent rim), трещины (fractures) и складки (fold). Диаметр 3,8 км, высота 1141 м. Масштаб 1 : 24 000. Координаты: 46,063972° / 90,901970°. Вариант слоя: World Imagery, Esri (версия 2023)

Fig. 4

View of the magmatic structure (batholith) of the Bulgan Gol river valley, border of China and Mongolia. The image shows structures, swell, cracks and folds. Diameter 3.8 km, height 1141 m. Scale 1 : 24,000. Coordinates: 46.063972°, 90.901970°. Layer option: World Imagery, Esri, in version 2023



Кольцевые структуры, связанные с действием экзогенных факторов (карстовых процессов, совместной работы льда, снега и воды), имеют молодой возраст, относительно небольшие размеры и менее распространены. Так, типичной миниатюрной формой высокогорной зоны Монгольского Алтая являются ледниковые цирки (кары), формы рельефа, имеющие гляциальное происхождение.

В отдельных крупных массивах они образуют лестницы каров (*англ.* cirque steps, glacier stairway), маркирующих циклические фазы оледенения горной страны. Большой интерес представляют и кольцевые структуры, распространенные в пределах современной криолитозоны, а также разнообразные структуры, имеющие техногенное происхождение. Примером такого рода, вероятно, могут быть взрывные кратеры, образованные в результате подземного взрыва газогидратов, на полуострове Ямал. Первой из найденных структур является Ямальский кратер в бассейне р. Мьяронгъяха (притока р. Мордыяха). Первоначальные размеры кратера: диаметр около 20 м, глубина около 50 м. Время образования — зимний период 2013–2014 годов. Координаты: $69,971111^\circ / 68,370278^\circ$. Специалистами картированы несколько десятков подобных кольцевых структур. Вопрос происхождения ряда наземных кольцевых структур является открытым, значительная часть объектов изучена недостаточно. Примеры кольцевых структур экзогенного генезиса приведены на рис. 5–6.

Рис. 5 

Вид на кар, массив Буянтын-Уул (3661 м), северо-запад Монголии. На снимке обозначены ледниковый цирк (кар) (cirque structure), ледники (gletcher) и каменные глетчеры (rock gletcher). Диаметр 920 м, высота 3403 м. Масштаб 1 : 2 600. Координаты: $48,328661^\circ / 89,816284^\circ$. Вариант слоя: World Imagery (Clarity), Esri (версия 2024)

Fig. 5

View of the kar, Buyantyn uul (3661 m), northwestern Mongolia. The picture shows a glacial cirque (kar), glaciers and rock glaciers. Diameter 920 m, height 3403 m. Scale 1 : 2,600. Coordinates: 48.328661° , 89.816284° . Layer option: World Imagery (Clarity), Esri, in version 2024

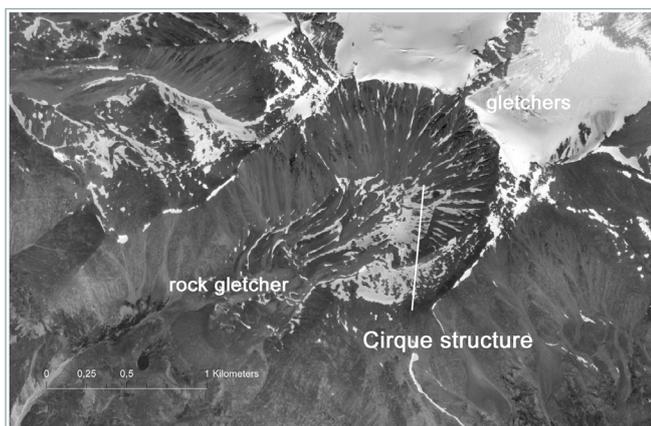
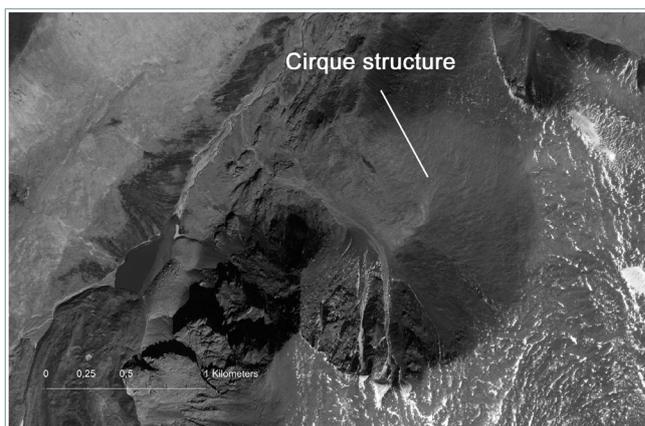


Рис. 6 

Вид на кар, массив Ценгел-Хайрхан-Уул (3925 м), северо-запад Монголии. На снимке обозначен ледниковый цирк (кар) (cirque structure). Диаметр 1620 м, высота 2922 м. Масштаб 1 : 2 600. Координаты: $48,578016^\circ / 89,213845^\circ$. Вариант слоя: World Imagery (Clarity), Esri (версия 2024)

Fig. 6

View of the kar, Tsengel Khairkhan uul (3925 m), northwestern Mongolia. The picture shows a glacial cirque (kar). Diameter 1620 m, height 2922 m. Scale 1 : 2,600. Coordinates: 48.578016° , 89.213845° . Layer option: World Imagery (Clarity), Esri, in version 2024



Метеоритные кратеры Земли относятся к экзогенным формам и рассматриваются исследователями отдельно. Астроблемы — геологические структуры, связанные с падением метеоритов и их фрагментов, свидетельства мгновенного, часто катастрофического изменения земной поверхности. Направления исследований наземных метеоритных кратеров включают три группы диагностических признаков: морфоструктурные, геофизические и минералопетрографические.

Многие импактные кольцевые структуры имеют грандиозные размеры, сложное строение, в значительной степени разрушены, погребены или скрыты толщей океанических осадков и предполагают длительное комплексное детальное изучение. Пример такого рода грандиозных объектов — возвышенность Бедаут (*англ.* Bedout High), крупный геологический объект, расположенный в Индийском океане, примерно в 250 км от северо-западного побережья Австралии, в бассейне Каннинга и вышележащих бассейнах Робака (*англ.* Canning and overlying Roebuck basins). Координаты: $-18,000000^\circ / 119,000000^\circ$; -300 м. Возвышенность Бедаут представляет собой лишь центральное поднятие гигантского метеоритного кратера. Структура — погребенный импактный кратер диаметром более 250 км (!), превосходящий по размерам также скрытый осадками кратер Чиксулуб

(исп. Chicxulub) на полуострове Юкатан, у побережья Мексики. Координаты: $21,400000^{\circ} / -89,516700^{\circ}$.

При анализе кернов нефтяных разведочных скважин района были обнаружены признаки ударного метаморфизма. Так, плагиоклаз, выделенный из разведочной скважины Лагранж-1, имеет возраст (метод $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$) $250,1 \pm 4,5$ млн лет и соотносится с границей перми и триаса (Permian, Changhsingian – Lower Triassic, Anisian) [2].

Сейсмические и гравитационные данные, идентификация расплавленных пород брекчии по кернам буровых скважин возвышенности Бедаут согласуются и свидетельствуют о наличии погребенного ударного кратера. Возраст данного гигантского кратера совпадает со временем пермо-триасовой экологической катастрофы, когда погибло до 90 % биологических видов. Некоторые исследователи считают, что именно грандиозные импактные события явились причиной шести больших и многочисленных малых экологических кризисов, вызвавших катастрофические изменения биоты Земли: Кембрийского взрыва — $542 \pm 0,5$ млн лет назад; ордовикского, девонского, пермского, триасового и мелового кризисов — 450, 370, 250, 210 и 65 млн лет назад соответственно.

Морфоструктурные признаки астроблем включают местоположение бескорневой геологической структуры, ее изученность, установленный возраст, степень сохранности, морфологические особенности и др. Выделяются погребенные и вторично открытые импактные структуры. Морфология кратеров включает описание контуров, формы, характеристику конфигурации и рисунка современной гидросети. При детальном исследовании оценивается строение частей импактного кратера: тип, ширина, глубина, внешний вал и борта (высота, ширина, разрывы и трещины, проломы вала). Указывается степень заполнения верхней части кратера брекчией, наличие и состояние центрального поднятия. Размеры кратера и его элементов — важный литологический признак. Так, размеры центрального поднятия прямо зависят от состава пород (диаметр кратера в осадочных породах меньше, чем в кристаллических). Критические величины для простых импактных форм составляют 2 и 4 км соответственно⁴.

На сохранность объекта влияет множество факторов. Имеют значение режим и количество атмосферных осадков, особенности развития уникального гидро-режима импактной структуры, идущие гидротермальные изменения, продолжительность и интенсивность процессов выветривания, степень разрушения поверхности, особенности деформации, захоронения и открытости геологических структур^{5,6}.

Сохранность и яркие морфологические особенности ударного кратера являются важными дешифровочными признаками. На примере метеоритных кратеров возможно проследить разные по степени сложности задачи дешифрирования снимков кольцевых структур. Среди множества астроблем лишь очень небольшая их часть обладает явными морфологическими особенностями. Возраст и размеры структуры, особенности геологической истории региона часто являются главными факторами. В качестве примера хорошо изученных структур приведем территорию Австралии. Возраст репрезентативных метеоритных кратеров континента составляет от 35 до $2,229 \pm 5$ млн лет. Диаметр самого молодого (эоценового возраста) кратера Флакман (*англ.* Flaxman), находящегося на юге Австралии, около 10 км, превышения свыше 200 м. Морфологические признаки не выражены. Координаты: $-34,616667^{\circ} / 139,066667^{\circ}$. Яркий метеоритный кратер прекрасной сохранности — Госсес-Блафф (*англ.* Gosses Bluff) в центре Австралийского материка. Возраст импактной структуры составляет $145,5 \pm 0,8$ млн лет. Структура прекрасно обнажена, изолирована, диаметр внутреннего вала около 3 км, внешнего вала — 22 км, превышения около 100 м. Координаты: $-23,820833^{\circ} / 132,307778^{\circ}$. Самый древний кратер Яррабубба (*англ.* Yarrabubba)

4 Huggett R.J. Fundamentals of Geomorphology. 3rd ed. London: Routledge, 2011. 536 p.

5 Мелosh Г.Д. Образование ударных кратеров: геологический процесс: монография / пер. с англ. И.О. Китова, А.В. Потапова; под ред. В.В. Адушкина, Б.А. Иванова. М.: Мир, 1994. 336 с.

6 Масайтис В.Л., Данилин А.Н., Машак М.С. и др. Геология астроблем. Л.: Недра, 1980. 231 с.

расположен в Западной Австралии. Проведенные изотопные U-Pb-исследования возраста деформаций монацитов и цирконов позволяют предполагать, что это одна из самых древних астроблем Земли. Объект выделен на основании геофизических (магнитных аномалий) и минерало-петрографических признаков. Структура хорошо обнажена и морфологически выражена. Кратер имеет размеры около 70 км и представлен сохранившимися фрагментами ударной структуры с превышениями около 20 м^{7,8}. Координаты: $-27,182222^{\circ} / 118,834444^{\circ}$ [3, 4].

Распространенными примерами слабо выраженных в рельефе, скрытых водой и частично погребенных кратеров являются Карский и Усть-Карский — структуры мелового возраста, расположенные в европейской части Арктики в России. Крупная геологическая структура Карский метеоритный кратер (Карская астроблема) округлой формы и диаметром 50–56 км находится на Югорском полуострове. В рельефе кратер выражен слабо, представляет собой вытянутую и открытую к морю впадину, заполненную образовавшимися при взрыве обломками пород. В строении выделяется центральное поднятие размерами 7×9 км, в котором на поверхность выступают отложения ордовика с силлами позднедевонского возраста. Для структуры характерно отсутствие строгой кольцевой симметрии кратерной воронки в связи с воздыманием и денудацией юго-западной части кратера. Данные изотопного датирования импактных стекол — $70,3 \pm 2,2$ млн лет (Mesozoic, Upper Cretaceous, Maastrichtian 72.1 ± 0.2 / Paleogene, Paleocene, Danian –66.0). Координаты: $69,100000^{\circ} / 64,150000^{\circ}$. Высота дна кратера составляет 34 м. Расположенный рядом на востоке Усть-Карский импактный кратер находится под водой. Диаметр 25 км. Координаты: $69,435058^{\circ} / 65,157704^{\circ}$; –25 м.

Структурным формам в данном случае импактных структур не всегда соответствуют явные морфологические выражения. Таким образом, морфологические признаки многих геологических объектов, хорошо просматривающиеся при анализе спутниковых снимков и отображающиеся на картах, могут быть совершенно не очевидными при прохождении полевых маршрутов и проведении глазомерной съемки. С развитием современных технологий обработки данных и адаптации визуальной информации появилась и проблема восприятия другого рода. Эта проблема заключается в верификации данных снимков, сопряжении их с картографическими данными и особенностями реальной местности. Как выглядит конкретный природный объект в естественных условиях? Для многих астроблем это еще более актуально, чем для простых для понимания эндогенных и экзогенных форм рельефа, таких как участки разрывных дислокаций, вулканические формы или проявления активных склоновых процессов. Известен пример, когда в ряде первых экспедиционных поездок в аймак Баянхогов в январе 2012 года специалисты не нашли сразу импактный кратер Цэнхэр. В экспедиционной поездке 2023 года под руководством С. Хадбаатара, организованной кафедрой географии Монгольского национального университета образования, студенты, не имеющие опыта натурных наблюдений, с трудом проводили визуальную оценку вулканических форм рельефа региона Мандал-Говь в Восточной Гоби. В большинстве экспедиционных поездок появляются подобные проблемы, связанные с идентификацией и классификацией природных объектов, часто составляющие домашние задания для исследователей на камеральный период.

Астроблемы часто служат ядрами формирования многих месторождений минерального сырья. Разрушения и дислокации тверди, вызванные мощным ударным воздействием, делают более доступными ресурсы. В одном из последних научных обзоров, посвященных изучению наземных астроблем, приводятся следующие данные: на разрабатываемые месторождения, связанные с метеоритными кратерами, приходится 17 % нефти, 32 % газа, 4,7 % алмазов, 14,26 % рудных минералов, 3,6 % солей, 2,4 % угля и др. В целом более

7 Earth Impact Database (EIDB). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.passc.net/EarthImpactDatabase/> (дата обращения: 01.10.2024).

8 Asetre Jo Hannah. Australia's Meteorite Impacts. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nacis.org/awards/2021-smpc-design-winner/> (дата обращения: 05.12.2023).

четверти всех известных месторождений ресурсов связаны с ударными кратерами. По этой причине астроблемы считаются новыми перспективными объектами для поисков ресурсов^{9,10} [5, 6].

Визуализации ярких геоморфологических особенностей астроблем посвящено множество работ. В рамках информационного проекта «Атлас простых форм рельефа Монголии» ударные кратеры были одними из первых мишеней.

В данной статье рассмотрены морфологические особенности, приведены результаты картографирования и визуализации спутниковых данных по метеоритному кратеру Цэнхэр, расположенному на территории Монгольской (Восточной) Гоби.

Цель исследования — на основе спутниковых данных провести картографирование и визуальную оценку природных объектов — импактных структур; создать изображения, наглядно показывающие морфологические особенности астроблем. В процессе исследования и анализа объектов были определены и следующие задачи:

- 1) провести отбор и анализ характеристик наиболее репрезентативных объектов среди метеоритных кратеров на территории Монголии;
- 2) подготовить серию карт импактной структуры Цэнхэр и ее трехмерную модель на основе интерпретации спутниковых данных, создать серию унифицированных иллюстраций, наглядно показывающих морфологические особенности кратера;
- 3) дать анализ состояния поверхности объекта и выделить ряд контрольных участков поверхности, требующих проведения систематических наблюдений.

2 Материалы и методы

В качестве основного инструмента при подготовке серии картографических изображений использовались возможности ГИС ArcGIS Desktop (v.10.3.0, Esri Inc.), Q-GIS v.2.18, в качестве дополнительного — возможности программного пакета для ОС Windows Global Mapper v21.00, а также графических редакторов, программ по обработке изображений^{11,12}.

При подготовке материала использовались возможности ГИС и пространственные открытые данные из трех групп источников. Актуальными являются исследования особенностей восприятия, частота использования разных тематических основ для создания карт поверхности и предпочтений аудитории.

1. Для анализа состояния поверхности участка применялись доступные многозональные снимки среднего разрешения оптического диапазона Landsat 5TM, Landsat 8OLI_TIRS, Landsat 9OLI_TIRS за период с 13.03.1987 по 19.03.2024. Для работы использованы восьмой спектральный канал (B8 PAN, панхроматический [англ. panchromatic, PAN]; длина волны 0,500–0,680 мкм, разрешение 15 м) как наиболее детальный¹³. Перечень снимков (сцен) с указанием названия сцены и даты съемки приводится в табл. 1.

9 French B.M. Traces of catastrophe: A handbook of shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact structures. Houston: Lunar and Planetary Institute, 1998. 120 p.

10 Flamini E., Martino M.D., Coletta A. Encyclopedic Atlas of Terrestrial Impact Craters. Springer Cham, 2019. 708 p.

11 ArcGIS Desktop, v.10.3.0 / Esri Inc. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.arcgis.com> (дата обращения: 07.02.2024).

12 Global Mapper / Blue Marble Geographics. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bluemarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper-21/GlobalMapper.htm> (дата обращения: 05.02.2024).

13 Earth Resources Observation and Science Center (EROS). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 07.05.2024).

Таблица 1 

Перечень многозональных снимков Landsat на ударный кратер Цэнхэр (Гобийский Алтай) за период с 1987 по 2024 год¹⁴

Table 1

List of Landsat multispectral images of the Tsenkher impact crater (Gobi Altai), for the period from 1987 to 2024¹⁴

Дата и время съемки	Уникальный номер снимка (сцены) Landsat
LANDSAT_5 TM	
1987-03-13. 03:34:51.2230130Z	LT05_L1TP_136030_19870313_20201014_02_T1
1987-05-16. 03:36:54.3280000Z	LT05_L1TP_136030_19870516_20201014_02_T1
1988-02-12. 03:42:38.0480190Z	LT05_L1TP_136030_19880212_20200917_02_T1
1988-02-28. 03:42:50.1150810Z	LT05_L1GS_136030_19880228_20200917_02_T2
2004-01-16. 03:45:39.4020190Z	LT05_L1TP_135030_20040116_20200904_02_T1
2007-02-16. 04:08:03.5620750Z	LT05_L1TP_136030_20070216_20200831_02_T1
2010-08-19. 04:03:23.0800380Z	LT05_L1TP_136030_20100819_20200824_02_T1
LANDSAT_8 OLI_TIRS	
2014-06-20. 04:06:36.0711040Z	LC08_L1TP_135030_20140620_20200911_02_T1
2015-12-16. 04:07:01.2333400Z	LC08_L1TP_135030_20151216_20200908_02_T1
2016-07-11. 04:06:48.7792230Z	LC08_L1TP_135030_20160711_20200906_02_T1
2017-03-31. 04:12:39.0266980Z	LC08_L1TP_136030_20170331_20200904_02_T1
2019-10-24. 04:07:17.0353760Z	LC08_L1TP_135030_20191024_20200825_02_T1
2020-01-28. 04:06:59.9238210Z	LC08_L1TP_135030_20200128_20200823_02_T1
2020-02-04. 04:13:07.9464689Z	LC08_L1TP_136030_20200204_20200823_02_T1
2020-02-29. 04:06:51.2619290Z	LC08_L1TP_135030_20200229_20200822_02_T1
2020-12-04. 04:06:56.5434409Z	LC08_L1TP_135030_20240123_20240130_02_T1
2021-02-15. 04:06:57.8953310Z	LC08_L1TP_135030_20210215_20210301_02_T1
2021-11-14. 04:07:14.6491170Z	LC08_L1TP_135030_20211114_20211125_02_T1
2022-01-17. 04:07:05.9892530Z	LC08_L1TP_135030_20220117_20220123_02_T1
2022-01-24. 04:13:14.0310750Z	LC08_L1TP_136030_20220124_20220128_02_T1
2022-02-18. 04:06:56.1345210Z	LC08_L1TP_135030_20220218_20220301_02_T1
2022-06-17. 05:34:14.3655210Z	LC08_L1TP_136233_20220617_20220629_02_T1
2024-01-23. 04:06:56.5434409Z	LC08_L1TP_135030_20240123_20240130_02_T1
2024-02-08. 04:06:59.5035750Z	LC08_L1TP_135030_20240208_20240213_02_T1
LANDSAT_9 OLI_TIRS	
2022-01-16. 04:13:18.6063570Z	LC09_L1TP_136030_20220116_20230501_02_T1
2022-03-30. 04:06:50.1277280Z	LC09_L1TP_135030_20220330_20230423_02_T1
2022-07-27. 04:13:04.1286150Z	LC09_L1TP_136030_20220727_20230406_02_T1
2022-11-16. 04:13:30.0796530Z	LC09_L1TP_136030_20221116_20230322_02_T1
2022-12-18. 04:13:30.0796530Z	LC09_L1TP_136030_20221218_20230317_02_T1
2023-06-28. 04:12:27.5196710Z	LC09_L1TP_136030_20230628_20230628_02_T1
2023-09-09. 04:06:55.4259660Z	LC09_L1TP_135030_20230909_20230909_02_T1
2023-11-19. 04:13:17.6405120Z	LC09_L1TP_136030_20231119_20231119_02_T1
2024-01-22. 04:13:17.8379110Z	LC09_L1TP_136030_20240122_20240122_02_T1
2024-03-19. 04:07:02.4005179Z	LC09_L1TP_135030_20240319_20240319_02_T1
2024-06-23. 04:05:55.0408230Z	LC09_L1TP_135030_20240623_20240623_02_T1

Примечание. Приводятся оригинальные названия, номера сцен и версий снимков Landsat.

- Для анализа состояния поверхности участка применялись подготовленные на основе доступных радарных данных цифровые модели высот (ЦМВ). Были проанализированы доступные данные ЦМВ: The NASA Shuttle Radar Topographic Mission, SRTM, Version 4 (SRTM 30m, 2008),

¹⁴ Earth Explorer. GIS Data / United States Geological Survey (USGS). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 20.02.2024).

ALOS Global Digital Surface Model (DSM), ALOS World 3D-30m (AW3D30), Version 4,0 (2023); NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001 (2020) — и их последующие интерпретации^{15,16,17,18}.

Данные ЦМБ ALOS на Монголию были подготовлены компанией NextGIS. Были использованы высотные данные, входящие в комплект многозональных снимков среднего разрешения Landsat 9 OLI_TIRS.

3. В качестве дополнительных источников данных использовались спутниковые мозаики World Imagery, World Imagery (Clarity), World Hillshade (Dark), база данных о гидросети HydroSHEDS, коллекции карт ArcGIS Living Atlas (Esri Inc.), возможности национальной ГИС MonGeoCat^{19,20,21}.

Выбранный участок подготовлен в системе Geographic Coordinate System (GCS Datum): World Geodetic System, WGS 1984 (EPSG: 4326). Для подготовки изображений объекта применялась цилиндрическая картографическая проекция Меркатора (Web Mercator – Auxiliary Sphere). Для проекта использовались масштабы 1 : 24 000 – 1 : 6 000, основной масштаб — 1 : 12 500. Картографические изображения предполагают печать.

С помощью приложения Global Mapper v21.00 и инструмента ArcToolbox ArcMap ESRI оценивались и визуализировались три показателя — крутизна склонов в градусах, экспозиция склонов и кривизна склонов.

Детальные изображения метеоритного кратера были подготовлены при комбинации методов визуализации с использованием спутниковых снимков и данных ЦМБ. Результат процесса обработки данных и их визуализации — монохромные и цветные версии изображений метеоритного кратера Цэнхэр.

Порядок подготовительных работ по сведению данных ДЗЗ и визуализации цифровой модели рельефа представлен ниже.

1. Анализ и выбор сцен (снимков) из серии многозональных снимков среднего разрешения оптического диапазона Landsat за 37-летний период.
2. Подготовка композитного стека на основе серии снимков Landsat. В качестве основных использовались данные панхроматического канала (B8-PAN).
3. Анализ, выбор и объединение файлов цифровых моделей высот ЦМР (HDR/HGT – SRTM и GeoTIFF – ALOS GDEM) в Global Mapper v21.00 и ArcGIS Desktop.
4. Проецирование растровой модели рельефа в выбранную проекцию, выявление и удаление артефактов, обрезка растровых изображений по заданным границам.
5. Визуализация геоморфологических показателей кольцевой структуры. Данные ЦМБ (SRTM [Ver. 4, 30m, 2008], ALOS World 3D-30m [AW3D30, Ver. 4,0, 2023]) обрабатывались с помощью инструментов ArcGIS Spatial Analyst Tools (Esri Inc.). Лучшие результаты на основе данных высот были получены на масштабах 1 : 12 000 – 1 : 6 000.
6. Подготовка картографического изображения поверхности с применением современных методик визуализации данных. Обработка данных

15 SRTM, version 4 / Consortium for Spatial Information of the Consultative Group for International Agricultural Research (CGIAR-CSI). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://srtm.csi.cgiar.org> (дата обращения: 07.02.2024).

16 ALOS Science Project. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earth.jaxa.jp/en/research/projects/alos/index.html> (дата обращения: 05.01.2024).

17 NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001. 2020. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://lpdaac.usgs.gov/products/nasadem_hgtv001 (дата обращения: 30.04.2024).

18 NextGIS. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nextgis.ru/datasets> (дата обращения: 30.04.2024).

19 HydroSHEDS / World Wildlife Fund US. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.hydrosheds.org> (дата обращения: 25.05.2021).

20 ArcGIS Living Atlas of the World / Esri Inc. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://livingatlas.arcgis.com> (дата обращения: 20.04.2024).

21 MonGeoCat / Mineral Resources and Petroleum authority of Mongolia. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://webgis.mris.mn> (дата обращения: 20.04.2024).

спутниковой съемки проводилась методами аналитической отмычки рельефа с оптимальным освещением склонов различной крутизны (*англ.* Multidirectional hillshades, MDOW) в сочетании с гипсометрической окраской, светящихся контуров²² [7], а также комбинированным методом RRIM (*англ.* Red Relief Image Map). Для отображения главных особенностей структуры метеоритного кратера изолинии проведены через 25, 10, 5 м.

Метод горизонталей (освещенных, затененных, подсвеченных или светящихся контуров), в оригинале — метод рельефного контура (*англ.* Relief Contour Method), предложил в 1950 году японский картограф Китиро Танака (Kitiro Tanaka). Метод заключается в том, что в результате косого положения источника света получается объемный эффект. Объекты, изображаемые на картах, выглядят трехмерными. Данный метод позднее был модифицирован П. Кеннелли, Дж. Кимерлингом (P. Kennelly, A. Jon Kimerling) и широко используется мастерами современной картографии Д. Коу (Daniel E. Coe), Дж. Нельсоном (John M. Nelson) и другими специалистами^{23,24}.

Метод RRIM — комбинированный метод визуализации высотных данных, учитывающий физиологические особенности зрительного восприятия. Его предложил в 2008 году японский картограф Тацуро Чибя (Tatsuro Chiba). Данный метод стал широко применяться для визуализации особенностей горных территорий. Он был использован при подготовке изображений метеоритного кратера как наиболее простой и выразительный [8–10]. Генерализация и применение различных методов отображения рельефа при создании карт и моделей актуальны. Важен баланс между выразительностью, реализмом и оптимальным количеством деталей [11–13].

7. Создание нескольких версий трехмерной модели поверхности участка Восточной Гоби с помощью приложений ArcGIS ArcScene / Q-GIS, модуля / плагина Q-GIS 2threejs, Global Mapper v21.00. В работе приводится одна версия.

В каталоге импактных структур Земли А.В. Михеевой (Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН) на территории Монголии указывается 45 структур. Среди них выделено пять категорий: достоверные, вероятные, предполагаемые, неустановленные и опровергнутые^{25,26}. Метеоритные кратеры как импактные структуры связаны с метеоритными бомбардировками. Данные о найденных метеоритах входят в специализированные международные информационные базы²⁷. Исследования продолжаются. Полевые материалы свидетельствуют о разных причинах происхождения подобных кольцевых структур. Примером тому служит эндогенная кольцевая структура Унегед-Уул (EISC), представляющая собой соляной диапир [14]. Координаты центра: 44,257836° / 109,348895°.

Геологические особенности территории Монголии изучены достаточно подробно, на картах масштабов 1 : 1 000 000 – 1 : 200 000 выделены 20 кольцевых структур с морфологией и признаками ударного метаморфизма. Исследования

22 Tanaka K. The Relief Contour Method of Representing Topography on Maps // Geographical Review. 1950. Vol. 40. No. 30. P. 444–457.

23 Coe D.E. The Washington Geological Survey. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dancocart.com> (дата обращения: 15.04.2024).

24 Nelson J.M. Adventures In Mapping. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://adventuresinmapping.com> (дата обращения: 05.05.2024).

25 Полный каталог импактных структур Земли А.В. Михеевой, ИВМиМГ СО РАН. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://labmpg.sssc.ru> (дата обращения: 05.07.2024).

26 Expert Database on Earth Impact Structures (EDEIS). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tsun.sssc.ru/nh/impact.php> (дата обращения: 05.07.2024).

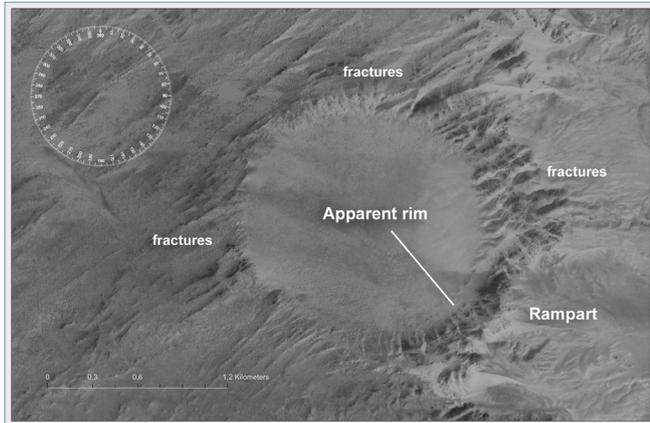
27 Meteoritical Bulletin and the Meteoritical Bulletin Database (MBDB). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php> (дата обращения: 01.10.2024).

Рис. 7

Вид на кратер Табун-Хара-Обо, юго-восток Монголии. На снимке обозначены метеоритный кратер, контур (apparent rim), насыпной вал (rampart), разломы (fractures). Внешний диаметр 1,3 км. Масштаб 1 : 3 000. Координаты: 44,131111° / 109,653889°. Вариант слоя: World Imagery, Esri (версия 2023)

Fig. 7

View of the Tabun-Khara-Obo crater, southeast Mongolia. The image shows the meteorite crater, outline, embankment, and faults. The outer diameter is 1.3 km. Scale 1 : 3,000. Coordinates: 44.131111°, 109.653889°. Layer option: World Imagery, Esri, in version 2023



ны внутреннее строение геологических объектов, состав и особенности комплекса пород-мишеней, внутренняя структура образцов импактитных брекчий и элементы ударного метаморфизма, в ряде из них отмечены находки диаплектических минералов и вулканического стекла. По большинству геологических объектов — импактных структур необходимы детальные исследования. Наиболее полный цикл исследовательских работ, включая научное бурение дна, проведен по одной простой импактной структуре — метеоритному кратеру Табун-Хара-Обо [15]. Изображение метеоритного кратера приводится на рис. 7.

Результаты детального изучения в настоящий момент доступны по двум кратерам: Табун-Хара-Обо и Цэнхэр. Из всех ударных кратеров, выделяемых в Монголии, последний наиболее репрезентативный. В отличие от простого по строению и небольшого по размерам кратера Табун-Хара-Обо, структура Цэнхэр обладает большими размерами, более сложным строением и яркими морфологическими чертами. Но, несмотря на перечисленные особенности, это сложный объект с точки зрения и визуального восприятия, и реальных для наблюдателя масштабов. Если не располагать данными

съемки и не являться специалистом, при прохождении тематических маршрутов данную геологическую структуру можно просто не идентифицировать. Оценка данного объекта, как и большинства астроблем, предполагает посещение серии контрольных участков в сопровождении подготовленного гида. Приведем далее краткую справочную информацию об особенностях выбранного объекта — метеоритного кратера Цэнхэр.

Кратер Цэнхэр (*монг.* Цэнхэр, Номин Цэнхэр уул) расположен в юго-западной части Монголии, в пределах Гобийского Алтая (Алтайская горная страна). Структура находится в пределах котловины шириной 1020 км, между двумя невысокими горными хребтами: с севера расположен Эрдэн (*монг.* Эдренгийн нуруу, 1422 м), с юга — Хэвцагай (*монг.* Хавцгайн нуруу, 1497 м). Хребты разделяют участки Заалтайской Гоби, к югу находится равнинный участок Цэнхэр-Хоолой, к юго-западу от геологической структуры расположены пустынные участки Шаргын-Гоби.

Расстояние объекта от столицы страны Улан-Батора — 816 км. Центр аймака — город Баян-Хонгор — удален более чем на 350 км на северо-восток от метеоритного кратера. В административном плане это территория самого западного аймака Баян-Хонгор — сомона Баян-Ундер (*монг.* Баян-Өндөр). Ближайший и оптимальный для маршрута населенный пункт — Шинэжинст (*монг.* Шинэжинст сум) — находится в 126 км на северо-восток (без учета реальной дорожной сети). Структура расположена в пределах природоохранной территории на северо-востоке Большого Гобийского заповедника (кластер А).

Объект описан и нанесен на топографические карты в результате проведения наземных геодезических работ. Первые полевые исследования генезиса объекта датируются 1998 годом и связаны с работой Совместной монгольско-российско-американской археологической экспедиции. В процессе дешифрирования данных дистанционного зондирования кольцевая структура идентифицирована как возможный ударный кратер.

Структура Цэнхэр представляет собой частично разрушенное сооружение — простую импактную структуру, образованную в древних кристаллических породах. Диаметр сооружения 7,3 км, высота дна кратера 943 м. Координаты центра: 43,635583° / 98,363694°. На топографической карте Генштаба ВС СССР приведены следующие высотные отметки: максимальная высота — 1009,5 м,

Рис. 8 

Вид на кратер Цэнхэр, юго-запад Монголии. Координаты: 43,635583° / 98,363694°. Базовое изображение: снимок Landsat 9 OLI_TIRS от 2023-11-19, Landsat ID: 2023-11-19 / 04:13:17.6405120Z- LC09_L1TP_136 030_20231119_20231119_02_T1. Канал B8 PAN. Масштаб 1 : 24 000.
 A — насыпной вал, B — размывтый контур, C — обнаженные породы, Dw — западный слой закратерного выброса, De — восточный слой закратерного выброса, E — внутренние отложения, F — дренирующий канал, G — водосбор, J — аллювиальный конус выноса, H — плайя, D1 — нижнедевонские отложения, Pz — палеозойские массивы

Fig. 8

View of the Tsenkher crater, southwest Mongolia. Coordinates: 43.635583°, 98.363694°. Base image: Landsat 9 OLI_TIRS image from 2023-11-19, Landsat ID: 2023-11-19 / 04:13:17.6405120Z- LC09_L1TP_136 030_20231119_20231119_02_T1. Channel B8 PAN. Scale 1 : 24,000

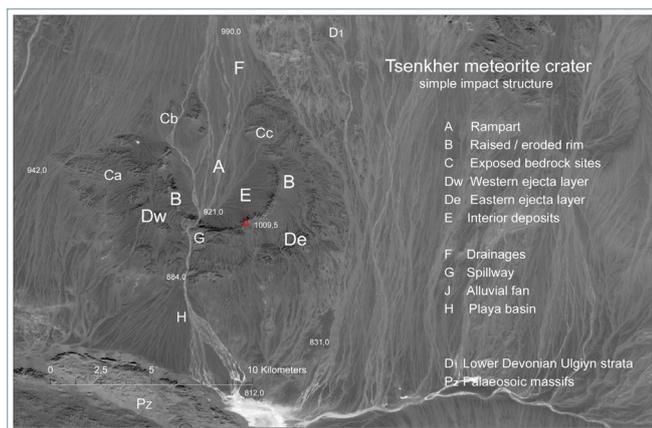
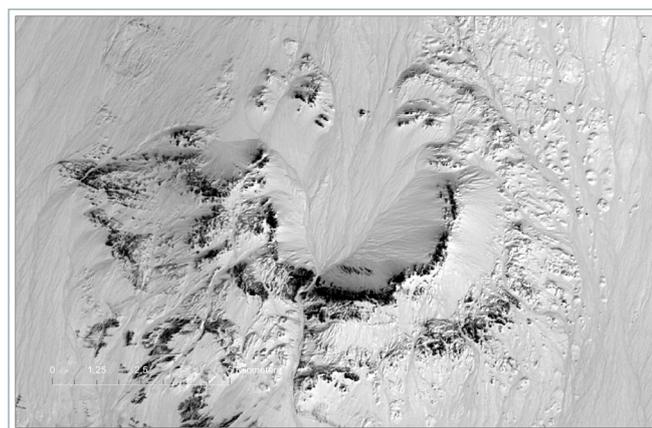


Рис. 9 

Вид на кратер Цэнхэр. Сезонные изменения — нерегулярно образующийся снежный покров. Снимок Landsat 9 OLI_TIRS от 2022-01-16, Landsat ID: 2022-01-16, 04:13:18.6063570Z- LC09_L1TP_13 6030_20220116_20230501_02_T1. Канал B8 PAN. Масштаб 1 : 12 000

Fig. 9

View of Tsenkher crater. Seasonal changes – irregular snow cover. Landsat 9 OLI_TIRS image from 2022-01-16, Landsat ID: 2022-01-16, 04:13:18.6063570Z-LC09_L1TP_136030_20220116_20230501_02_T1. Channel B8 PAN. Scale 1 : 12,000



минимальная высота днища кратера — 921,0 м, разрушенная временными потоками южная часть контура структуры — 884,0 м и др.²⁸

Кратер имеет округлую форму, слегка вытянут в северном направлении, с юго-восточным падением. Радиус видимого края кратера меняется от 3,5 до 4 км. Высота фрагментов края кратера различная, максимальные значения оставляют 70–80 м. Непрерывный (за исключением разрушенной северной части) внешний вал, образованный в результате взрыва (зона закратерных выбросов) и последующего осаждения материала, расположен на расстоянии 12 км от кратера. Относительные высоты вала малы и находятся в диапазоне 20–50 м. Внешний вал разрушен неравномерно, лучше сохранилась его восточная часть. По периферии кольцевой структуры в изобилии встречаются радиальные и тангенциальные разломы и трещины. В южной части структуры, в самом низком месте воронки, находится дренирующую систему канал. Активные сейсмические разломы расположены на север и на юго-восток от ударного кратера и относятся к хребту Эдренгийн-Нуруу, к Гоби-Тянь-Шанской зоне разломов (англ. Gobi Tien Shan Fault Zone / System, AFEAD Database, Sheet K47)²⁹. Последний крупный тектонический разлом проходит в субширотном направлении и хорошо просматривается на спутниковых и аэрофотоснимках. Часто в отношении сооружений этой части Большого Алтая применяется термин *Транс-Алтай*. На рис. 8–9 обозначены основные элементы геологической структуры.

Ударный кратер создан в древнейших зеленокаменных и сланцево-карбонатных породах рифейско-кембрийского возраста, ассоциирующих с гипербазитами. В данном регионе Гобийского Алтая широко распространены гранитные интрузии. Возраст вмещающих пород по стратиграфическим признакам определяется как раннекембрийский (PZ-MZ). Аллювиальный материал, который заполняет кратер, привнесен с горного хребта Эдренгийн-Нуруу четвертичного возраста³⁰. Несогласные отложения полимиктовой брекчии фиксируются за пределами видимого края кратера.

В экспедиции 2007 года была проведена гравитационно-магнитная съемка. Моделирование данных показало чашеобразное и бескорневое строение структуры Цэнхэр при отсутствии магматического очага. Определение возраста обломков брекчии радиоизотопным (⁴⁰Ar – ³⁹Ar) методом дало значения 4,9 ± 0,9 млн лет (3.600 Ma Piacenzian Age – 5.333 Ma Zanclean Age, Pliocene Epoch, Neogene Period – 7.246 Ma Messinian Age, Miocene Epoch) [16].

28 Топографическая карта. Масштаб 1 : 100 000. М.: ВТУ ГШ ВС СССР, 1976. Л. К-47-17.

29 Active Faults of Eurasia Database (AFEAD), version 2022. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://neotec.ginras.ru/index/english/database_eng.html (дата обращения: 01.10.2024).

30 Монгольская Народная Республика. Национальный атлас / гл. ред. В.В. Воробьев, Ш. Цэгмид. М.: Улан-Батор, 1990. 144 с.

В течение нескольких полевых сезонов интернациональный коллектив ученых проводил наземные геолого-структурные исследования кратера Цэнхэр [17, 18].

Комплексные полевые исследования территории включали: работы с картографическими материалами, детальную полевую фотосъемку 12 контрольных участков структуры, прохождение гипсометрические профилей, экспресс-диагностику минерального состава и генезиса проб горных пород на месте (РСА-анализ), отбор проб пород для исследования в условиях лаборатории. В процессе последующей детальной камеральной обработки данных подтвердилось предположение об импактном генезисе геологической структуры [19].

Изучение вещественного состава горных пород, отобранных в пределах астроблемы Цэнхэр, показало присутствие магнетита со следами плавления и ударного воздействия, а также наличие композитных микрочастиц, которые могли возникнуть в результате удара метеорита о поверхность Земли. В отобранных на месте пробах были найдены вещества, подтверждающие космогенную природу кольцевой структуры: свидетельства шокового метаморфизма пород-мишеней и минералов, остаточные механические напряжения, связанные с деформацией кристаллических решеток породообразующих минералов. Результаты проведенного комплекса исследований подтверждают ударное происхождение кратера Цэнхэр [20–22].

Важной особенностью положения рассматриваемой импактной структуры является ее изолированность и нахождение вблизи зоны ветрового затишья, на рубеже двух циркуляционных систем — Атлантической и Тихоокеанской. В значительной степени эта особенность определяет малое количество, низкую интенсивность процессов выпадения атмосферных осадков и интенсивность процессов физического и химического выветривания. Для определения их роли в формировании современной поверхности необходимо провести анализ климатических данных о режиме и количестве атмосферных осадков и увлажнении поверхности за продолжительный период времени. Анализ продолжительного периода съемки показал нерегулярно образующийся снежный покров, подчеркивающий разницу и морфологию склонов метеоритного кратера, изменения гидрологической сети и оптических характеристик поверхности. Это типичные аридные условия и набор процессов, формирующих рельеф [23, 24].

Сезонный снежный покров фиксируется на 15 снимках Landsat 5 TM, Landsat 8-9 OLI_TIRS. Показательны данные о климатических характеристиках: температурах, ветровом режиме, снеговом покрове ближайших населенных пунктов (Баян-Тоорой). Координаты: 44,920026° / 96,748591°. Высота 1180 м. В данный момент на основе использования ГИС активно ведутся работы по детальной классификации экологических условий Гоби и рельефу как их главной слагаемой поверхности [25].

Несмотря на максимум атмосферных осадков, приходящихся на теплый период, даже нерегулярно образующийся маломощный снежный покров, концентрируясь в зоне кратера, вносит свой вклад в формирование поверхности структуры. Большое значение имеет режим его схода или таяния. При быстром сходе, как для всех горных регионов, здесь фиксируются миниатюрные селевые потоки, документированные при проведении детальных полевых работ. Главная гидрологическая система (без названия), начинаясь с хребта Эдренгийн-Нуруу, проходит в меридиональном направлении к котловине Цэнхэр-Хоолой. Временные сезонные водные потоки совершают работу по преобразованию поверхности структуры, образуя за границами кратера хорошо видимый аллювиальный шлейф. Это имеет значение и для процедуры визуализации данных. В зависимости от года, сезона и угла спутниковой съемки степень этих изменений поверхности хорошо видна на доступных спутниковых снимках среднего разрешения. Созданные изображения поверхности эффектно подчеркивают данные особенности.

В заключении настоящего обзора необходимо сделать следующее замечание. Для работы с морфологическими характеристиками рассматриваемой ударной структуры в данный момент недостаточно высотных данных. Отсутствуют также детальные геологические сведения о данной части Гобийского Алтая.

Доступными являются только данные съемки масштаба 1 : 250 000. Это затрудняет создание более точной и реалистичной модели поверхности, проведение расчетов по сезонному изменению динамики поверхности и ряду других измерений. Восполнить этот пробел возможно использованием спутниковых снимков на объект более высокого разрешения, проведением детальной геологической съемки с выделением значимых морфологических частей. Для подобных объектов приемлемо употребление терминов *геотоп* (англ. *geotop*), *слагающие его части* (англ. *geosite*), *геоморфологические участки* (англ. *geomorphosites*). Примером в данном случае могут служить работы с кратером Рис в Швабии^{31,32} [26] — мониторинг контрольных участков наблюдений, наземные работы с использованием БПЛА.

Метеоритные кратеры — уникальные геологические структуры — являются ценными природными объектами, частью геологического наследия Земли. Импактные кратеры могут служить в качестве природных объектов для научных исследований, подготовки космических программ, геотуризма и популяризации знаний. Исследования их особенностей необходимы. Примеров такого рода достаточно. В исследовании рабочей группы Международного союза геологических наук (программа 731 по изучению геологического наследия) таких участков на октябрь 2024 года всего лишь пять. Все объекты — импактные кратеры разного масштаба, возраста и разной степени сохранности — детально изучены. Объекты находятся под охраной государства и имеют статус национального геопарка или геопарка ЮНЕСКО^{33,34}.

Среди них — купол Арагуайнья (Паранский бассейн, бассейн р. Амазонки) (исп. *Domo de Araguainha*; англ. *Araguainha Dome*, IUGS Site 01-100). Крупная импактная структура вскрыла неопротерозойский и кембрийский кристаллический фундамент, окруженный силурийскими и пермскими осадочными слоями, представлена центральным поднятием³³.

Крупнейшая, более 250 км диаметром, ударная структура суши, имеющая возраст 2,02 млрд лет, также представлена фрагментами центрального поднятия — купол Вредефорта в Южной Африке (англ. *Vredefort Dome*, IUGS Site 02-197). Ударная структура Вредефорт произвела масштабные изменения, обнажила древнейшие породы, генетически связана с золотоносным бассейном Витватерсранд. Три другие кайнозойские геологические структуры — более простые и менее масштабные природные объекты.

Метеоритный кратер миоценового возраста Нёрдлингер-Рис, или Рис (нем. *Nördlinger Ries*, IUGS Site 02-198), находится в Швабии (земля Баден-Вюртемберг, Германия). Детально изученная ударная структура относится к сложным по строению ударным кратерам с центральным поднятием, внутренним и внешним валом.

Ударная структура плейстоценового возраста — кратер Босумтви (англ. *Bosumtwi crater*, IUGS Site 02-199) — расположена в регионе Ашанти (Гана, Западная Африка). Кратер имеет возраст 1,07 млн лет, диаметр около 10,5 км и полностью заполнен водой. Кратер вскрыл метаморфизованные кристаллические породы возрастом 2 млрд лет.

Кратер Барринджера (англ. *Barringer Crater*, IUGS Site 02-200) голоценового возраста находится на севере Аризоны в США. Метеоритный кратер образовался около 50 000 лет назад, классифицируется как простой ударный кратер. Структура имеет чашеобразную форму, диаметр 1200 м и глубину 170 м. Внешний вал 45 м высотой³⁴.

31 Hüttner R., Schmidt-Kaler H. Die geologische Karte des Rieses. Maßstab 1 : 50 000 (2., überarbeitete Auflage). München, 1998. 16 S.

32 Lagally U., Rohrmüller J., Glaser S., et al. Hundert Meisterwerke – Die schönsten Geotope Bayerns. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2012. 288 S.

33 The first 100 IUGS Geological Heritage Sites. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iugs-geoheritage.org/publications> (дата обращения: 29.09.2024).

34 The Second 100 IUGS Geological Heritage Sites. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iugs-geoheritage.org/publications> (дата обращения: 29.09.2024).

В перспективе, по мнению специалистов и авторов статьи, после проведения стандартной процедуры и рассмотрения материалов экспертами метеоритный кратер Цэнхэр может попасть в реестр национальных охраняемых объектов и далее — в состав сети геопарков ЮНЕСКО (UNESCO Global Geopark – UGGp)³⁵.

3 Результаты

В процессе совместного исследования природных объектов были решены следующие задачи.

1. Был выбран репрезентативный участок — крупный метеоритный кратер на территории Гобийского Алтая.
2. Результатом работы по анализу и обработке спутниковых снимков оптического диапазона и радиометрических данных стал комплект унифицированных картографических изображений, наглядно показывающих геоморфологические особенности астроблемы Цэнхэр. На участок Гобийского Алтая и импактную структуру Цэнхэр создана 3D-модель. Серия изображений особенностей поверхности кольцевой структуры подготовлена с использованием комбинированных методов визуализации (см. рис. 10–23 в приложении).
3. На основе анализа данных за продолжительный период выбраны участки геологической структуры, требующие проведения систематического изучения и наблюдений.

4 Обсуждение

В данной работе рассмотрена открытая в результате дешифрирования снимков простая по строению и крупная импактная структура (*англ.* simple impact structure) хорошей сохранности. Среди метеоритных кратеров Монголии структура Цэнхэр является прекрасным примером ударного кратера с яркими морфологическими признаками, очевидными геологическими особенностями, значимыми обнажениями брекчий, геофизическими и минералогическими признаками ударного генезиса. Кратер является объектом изучения современных экзогенных процессов, нивелирующих современную поверхность.

Большинство из выделяемых импактных структур, расположенных в Монголии, являются более сложными объектами для процедуры дешифрирования и представления в качестве репрезентативных, эталонных объектов. Для их изучения необходимы как большие массивы данных, так и комплексное детальное исследование особенностей кольцевых импактных структур, включающее сбор материала и камеральную обработку материалов полевых работ.

5 Выводы

Кольцевые структуры широко распространены, разнообразны по своим размерам, генезису, строению и открытости. Объекты являются примерами визуализации данных и наглядного представления особенностей поверхности. Картографические данные, современные иллюстративные материалы о формах

³⁵ Global Geoparks Network. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.globalgeopark.org> (дата обращения: 01.10.2024).

рельефа связаны с содержанием учебных дисциплин, необходимы для качественной подготовки студентов. Благодаря возможностям ГИС-технологий с помощью современных методов обработки данных создана серия наглядных картографических изображений простой импактной структуры на территории Гобийского Алтая.

БЛАГОДАРНОСТИ Авторы благодарят исследователя природы и недр Монголии, кандидата геолого-минералогических наук М.Н. Гречухина, оказавшего помощь в работе над содержательной частью настоящего обзора, а также выражают признательность Р.Ч. Арифулову за руководство данным информационным проектом и его техническое сопровождение.

- БИБЛИОГРАФИЯ**
1. Гуревич Д.В. Кольцевые структуры: важнейшие механизмы образования // Региональная геология и металлогения. 2009. № 39. С. 14–23.
 2. Becker L., Poreda R.J., Basu A.R., et al. Bedout: A possible end-Permian impact crater offshore of Northwestern Australia // Science. 2004. Vol. 304. No. 5676. P. 1469–1476. DOI:10.1126/science.1093925.
 3. Macdonald F.A., Bunting J.A., Cina S.E. Yarrabubba – a large, deeply eroded impact structure in the Yilgarn Craton, Western Australia // Earth and Planetary Science Letters. 2003. Vol. 213. No. 3-4. P. 235–247. DOI:10.1016/S0012-821X(03)00322-4.
 4. Erickson T.M., Kirkland C.L., Timms N.E., et al. Precise radiometric age establishes Yarrabubba, Western Australia, as Earth's oldest recognised meteorite impact structure // Nature Communications. 2020. Vol. 11. No. 1. P. 300. DOI:10.1038/s41467-019-13985-7.
 5. Meschede M., Warr L.N. Asteroid Craters // The Geology of Germany. Regional Geology Reviews. Springer, Cham. 2019. P. 251–257. DOI:10.1007/978-3-319-76102-2_15.
 6. Kenkmann T. The terrestrial impact crater record: A statistical analysis of morphologies, structures, ages, lithologies, and more // Meteoritics & Planetary Science. 2021. Vol. 56. No. 5. P. 1024–1070. DOI:10.1111/maps.13657.
 7. Kennelly P., Kimerling A.J. Modifications of Tanaka's Illuminated Contour Method // Cartography and Geographic Information Science. 2001. Vol. 28. No. 2. P. 111–123. DOI:10.1559/152304001782173709.
 8. Chiba T., Kaneta S., Suzuki Y. Red Relief Image Map: New visualization method for three dimensional data // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008. Vol. 37. Part B2. P. 1071–1076.
 9. Chiba T., Hasi B. Ground surface visualization using Red Relief Image Map for a variety of map scales // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016. Vol. 41. Part B2. P. 393–397. DOI:10.5194/isprsarchives-XLI-B2-393-2016.
 10. No T., Hiramatsu T., Sato T., et al. Red relief image map and integration of topographic data in and around the Japan Sea // JAMSTEC Report of Research and Development. 2016. Vol. 22. P. 13–29. (In Japanese). DOI:10.5918/jamstecr.22.13.
 11. Samsonov T. Granularity of Digital Elevation Model and Optimal Level of Detail in Small-Scale Cartographic Relief Presentation // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. No. 5. 1270. DOI:10.3390/rs14051270.
 12. Sparavigna A.C. Craters in Maps given by Spaceborne Digital Elevation Models. 2022. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03607208> (дата обращения: 29.09.2024).
 13. Douglass N.A.K., Fish C.S. That's a Relief: Assessing Beauty, Realism, and Landform Clarity in Multilayer Terrain Maps // Cartographic Perspectives. 2022. No. 100. P. 43–66. DOI:10.14714/CP100.1727.
 14. Schmieder M., Seyfried H., Gerel O. The circular Uneged Uul structure (East Gobi Basin, Mongolia) – Geomorphic and structural evidence for meteorite impact into an unconsolidated coarse-clastic target? // Journal of Asian Earth Sciences. 2013. Vol. 64. No. 5. P. 58–76. DOI:10.1016/j.jseaes.2012.11.042.
 15. Amgaa T., Mader D., Reimold W.U., et al. Tabun Khara Obo impact crater, Mongolia: Geophysics, geology, petrography, and geochemistry // Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI: Geological Survey of America. Reimold W.U., Koeberl C. (eds.). 2021. Vol. 550. P. 81–132. DOI:10.1130/2021.2550(04).
 16. Cohen K.M., Finney S.C., Gibbard P.L., et al. The ICS International Chronostratigraphic Chart // Episodes. 2013. Vol. 36. No. 3. P. 199–204. DOI:10.18814/epiiugs/2013/v36i3/002.

17. Komatsu G., Olsen J.W., Ormö J., et al. The Tsenkher structure in the Gobi-Altai, Mongolia: Geomorphological hints of an impact origin // *Geomorphology*. 2006. Vol. 74. No. 14. P. 164–180. DOI:10.1016/j.geomorph.2005.07.031.
18. Komatsu G., Ormö J., Bayaraa T., et al. The Tsenkher structure in the Gobi-Altai, Mongolia; preliminary results from the 2007 expedition // 39th Lunar and Planetary Science Conference (Lunar and Planetary Science XXXIX) (League City, Texas, March 10–14, 2008). 2008. No. 1391. P. 1622.
19. Komatsu G., Ormö J., Bayaraa T., et al. Further evidence for an impact origin of the Tsenkher structure in the Gobi-Altai, Mongolia: Geology of a 3.7 km crater with a well-preserved ejecta blanket // *Geological Magazine*. 2019. Vol. 156. No. 1. P. 1–24. DOI:10.1017/S0016756817000620.
20. Салтыковский А.Я., Цельмович В.А., Байараа Т. и др. Импактный кратер и состав космического вещества в раннепалеозойской структурной зоне Южной Монголии // *Материалы XII Международной конференции «Физико-химические и петрофизические проблемы в науках о Земле» (Москва, 3–5 октября 2011 г.; Борок, 6 октября 2011 г.)*. М., 2011. С. 274–279.
21. Салтыковский А.Я., Никитин А.Н., Цельмович В.А. и др. Импактный кратер и состав космического вещества в Центральной Азии. 2012. P. 1–16. DOI:10.13140/RG.2.2.17623.68003.
22. Цельмович В.А. Самородные металлы и космические минералы из астроблемы Цэнхэр // *Минералы: строение, свойства, методы исследования: материалы IV Всероссийской молодежной научной конференции (Екатеринбург, 15–18 октября 2012 г.)*. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2012. С. 257–259.
23. Goudie A. *Arid and Semi-Arid Geomorphology*. Cambridge University Press, 2013. 454 p.
24. Береснева И.А. *Климаты аридной зоны Азии* / отв. ред. П.Д. Гунин. М.: Наука, 2006. 286 с.
25. Heiner M., Batsaikhan N., Galbadrakh D., et al. Towards a National GIS Model to Map Terrestrial Ecosystems in Mongolia: A Pilot Study in the Gobi Desert Region // *Proceedings of the Trans-disciplinary Research Conference: Building Resilience of Mongolian Rangelands (Ulaanbaatar, Mongolia, June 9–10, 2015)*. Ulaanbaatar, 2015. P. 24–34. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mountainscholar.org/items/f270edf3-2db1-47f5-91a4-b1fd6d8367e4> (дата обращения: 29.09.2024).
26. Reynard E., Coratza P., Regolini-Bissig G. *Geomorphosites*. Munchen: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 2009. 240 p.

АВТОРЫ **Абдильянов Саид Нурмухамматович**

ФГБУН «Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН» (ГГМ РАН), Москва, Россия;

ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина», Москва, Россия
кафедра геоэкологии, факультет геологии и геофизики нефти и газа
канд. геогр. наук, доцент

 0000-0003-2053-8230

Хадбаатар Сандаг

Монгольский государственный университет образования, Улан-Батор, Монголия
кафедра географии, Институт математики и естественных наук
канд. геогр. наук, профессор

Семеренко Илья Константинович

ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина», Москва, Россия
кафедра геоэкологии, факультет геологии и геофизики нефти и газа
магистрант

Поступила 03.10.2024. Принята к публикации 21.02.2025. Опубликовано 28.02.2025.

Приложение

Рис. 10 

Вид на кратер Цэнхэр. Сезонные изменения — разрушающийся снежный покров. Снимок Landsat 8 OLI_TIRS от 2022-01-24, Landsat ID: 2022-01-24, 04:13:14.0310750Z-LC08_L1TP_136030_20220124_20220128_02_T1. Канал B8 PAN. Масштаб 1 : 12 000

Fig. 10

View of Tsenkher crater. Seasonal changes – eroding snow cover. Landsat 8 OLI_TIRS image from 2022-01-24, Landsat ID: 2022-01-24, 04:13:14.0310750Z-LC08_L1TP_136030_20220124_20220128_02_T1. Channel B8 PAN. Scale 1 : 12,000



Рис. 11 

Вид на кратер Цэнхэр. Сезонные изменения — нерегулярно образующийся снежный покров. Снимок Landsat 8 OLI_TIRS от 23.01.2024, Landsat ID: 2024-01-23 / 04:06:56.5434409Z- LC08_L1TP_135030_20240123_20240130_02_T1. Канал B8 PAN. Масштаб 1 : 6 000

Fig. 11

View of Tsenkher crater. Seasonal changes – irregular snow cover. Landsat 8 OLI_TIRS from 23.01.2024, Landsat ID: 2024-01-23 / 04:06:56.5434409Z-LC08_L1TP_135030_20240123_20240130_02_T1. Channel B8 PAN. Scale 1 : 6,000

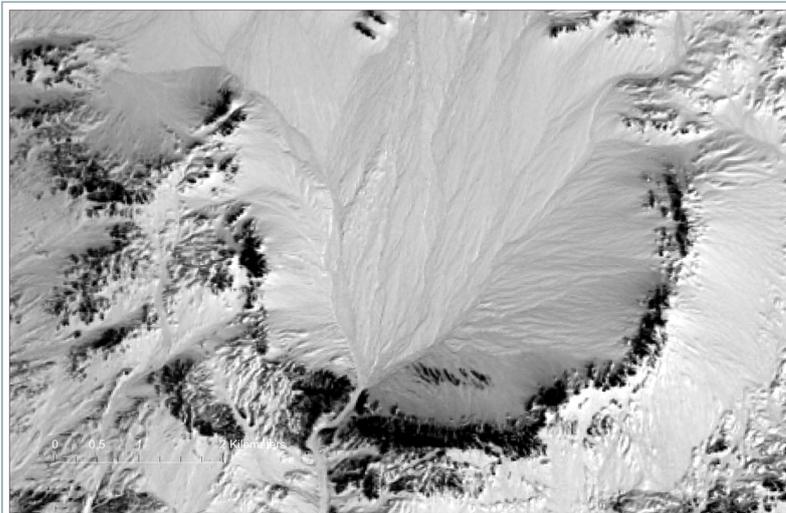


Рис. 12 

Вид на кратер Цэнхэр. Сезонные изменения — высохшие дренирующую систему временные водотоки. Вариант слоя: World Imagery (Clarity), монохромный вариант изображения. Esri (версия 2023). Масштаб 1 : 6 000

Fig. 12

View of Tsenkher crater. Seasonal changes – temporary streams draining the system have dried up. Layer option: World Imagery (Clarity), Esri, in version 2023. Scale 1 : 6,000

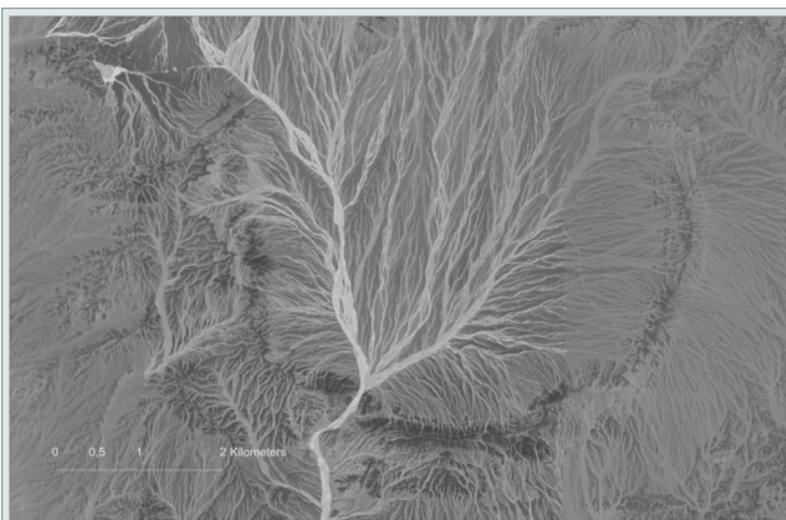


Рис. 13 ➤

Вид на кратер Цэнхэр. Обработка данных цифровой модели высот (SRTM). Визуализация показателя — «крутизна склонов» (градусы). Основной тематический слой — градиентный вариант раскраски (а). Комбинация тематических слоев: крутизна склонов (градусы) — градиентный вариант гипсометрической раскраски и базового слоя World Imagery (Clarity), Esri (версия 2023) (б). Масштаб 1 : 12 000

Fig. 13

View of Tsenkher crater. Processing of digital elevation model (SRTM) data. Visualization of the slope steepness (degrees) indicator. The main thematic layer is a gradient coloring option (a). Combination of thematic layers: slope steepness (degrees) – a gradient version of hypsometric coloring and the base layer of World Imagery (Clarity), Esri in version 2023 (b). Scale 1 : 12,000

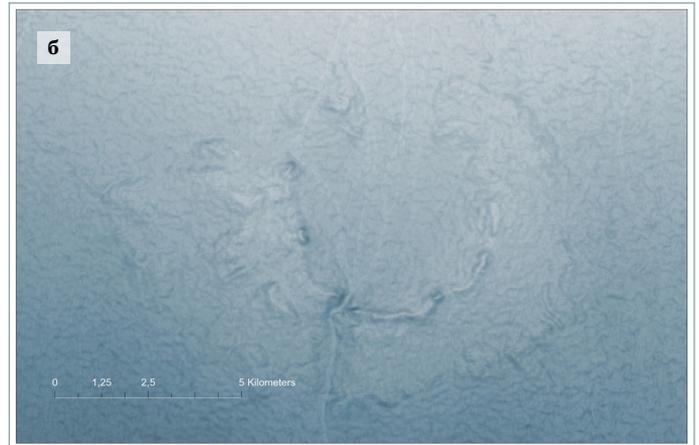
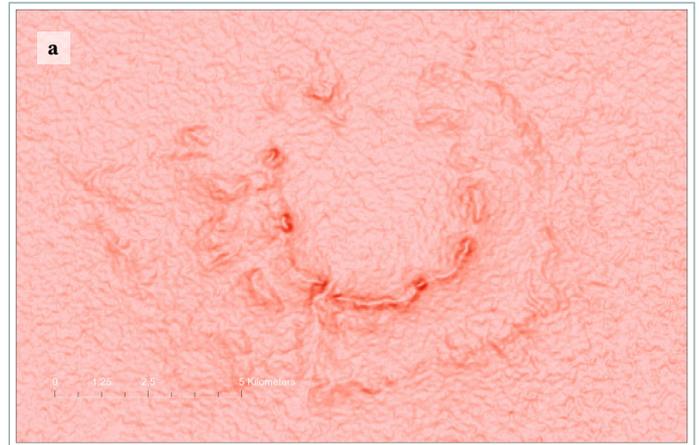


Рис. 14 ➤

Вид на кратер Цэнхэр. Обработка данных цифровой модели высот (SRTM). Комбинация тематических слоев: гипсометрическая раскраска в сочетании с методом горизонталей, изогипсы проведены через 10 м, градиентный вариант раскраски (а), многоцветный вариант гипсометрической раскраски (б). Масштаб 1 : 12 000

Fig. 14

View of the Tsenkher crater. Processing of digital elevation model (SRTM) data. Combination of thematic layers: hypsometric coloring combined with the contour method, isohypses drawn every 10 meters, gradient coloring option (a), multicolor hypsometric coloring option (b). Scale 1 : 12,000

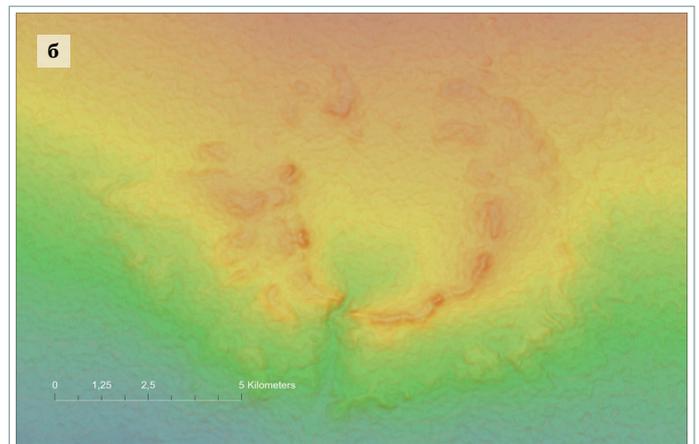


Рис. 15 ➔

Вид на кратер Цэнхэр. Обработка данных цифровой модели высот (SRTM). Комбинация тематических слоев: гипсометрическая раскраска в сочетании с методами аналитической светотеневой отмывки, святающихся горизонталей, градиентный вариант (а), World Imagery (Clarity), World Hillshade (Dark), Esri (версия 2022). Метод светотеневой отмывки, многоцветный вариант гипсометрической раскраски (б). Масштаб 1 : 12 000

Fig. 15

View of Tsenkher crater. Processed digital elevation model (SRTM) data. Combination of thematic layers: hypsometric coloring combined with analytical hillshading methods, glowing contours, gradient version (a), World Imagery (Clarity), World Hillshade (Dark), Esri in version 2022. Analytical hillshading method, multi-color version of hypsometric coloring (b). Scale 1 : 12,000

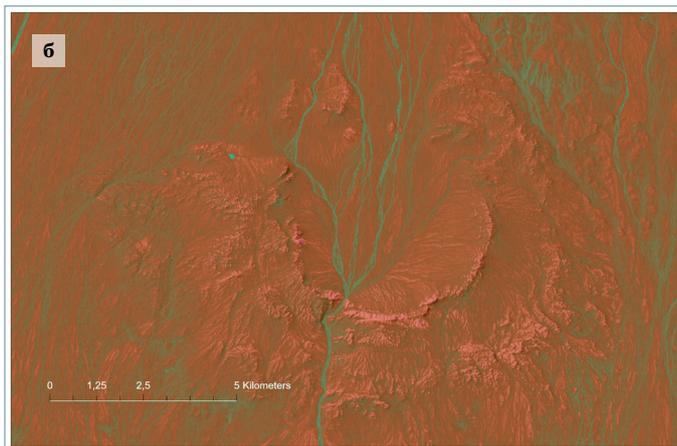


Рис. 16 ➔

Вид на кратер Цэнхэр. Обработка данных цифровой модели высот (ALOS GDEM). Комбинация тематических слоев: гипсометрическая раскраска в сочетании с методом горизонталей, изогипсы проведены через 5 м, многоцветный вариант раскраски (а), данных цифровой модели высот (ALOS GDEM) и базового слоя: World Imagery (Clarity), Esri (версия 2023), многоцветный вариант гипсометрической раскраски (б). Масштаб 1 : 6 000

Fig. 16

View of the Tsenkher crater. Processing of digital elevation model (ALOS GDEM) data. Combination of thematic layers: hypsometric coloring combined with the contour method, isohypses drawn every 5 meters, multi-color version of coloring (a), digital elevation model (ALOS GDEM) data and the base layer: World Imagery (Clarity), Esri in version 2023, multi-color version of hypsometric coloring (b). Scale 1 : 6,000

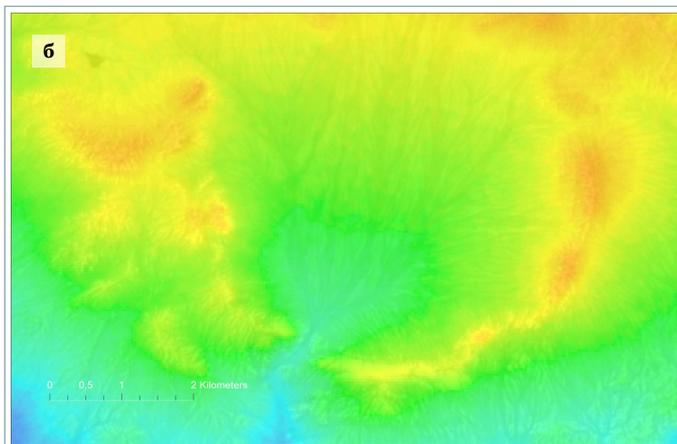
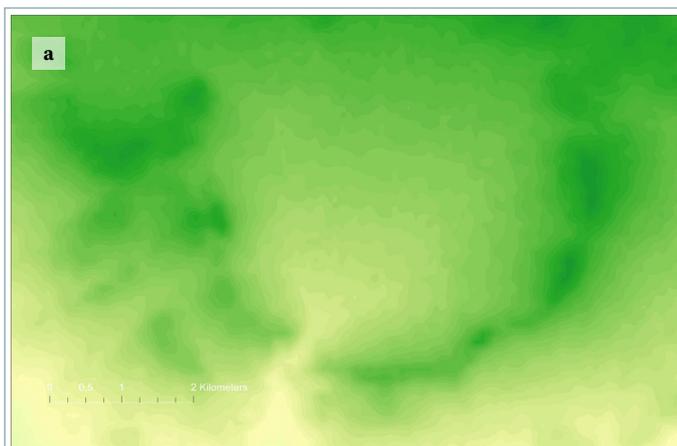


Рис. 17 ➤

Вид на кратер Цэнхэр. Изображение на основе использования комбинации тематических слоев: World Imagery (Clarity), World Hillshade (Dark), Esri (версия 2022). Метод светотеневой отмывки, градиентный вариант (а), World Imagery (Clarity), World Hillshade (Dark), Esri (версия 2022). Метод светотеневой отмывки, многоцветный вариант гипсометрической раскраски (б). Масштаб 1 : 6 000

Fig. 17

View of Tsenkher crater. Image based on a combination of thematic layers: World Imagery (Clarity), World Hillshade (Dark), Esri in version 2022. Analytical hillshading, gradient version (a), World Imagery (Clarity), World Hillshade (Dark), Esri in version 2022. Analytical hillshading, multicolor version of hypsometric coloring (b). Scale 1 : 6,000

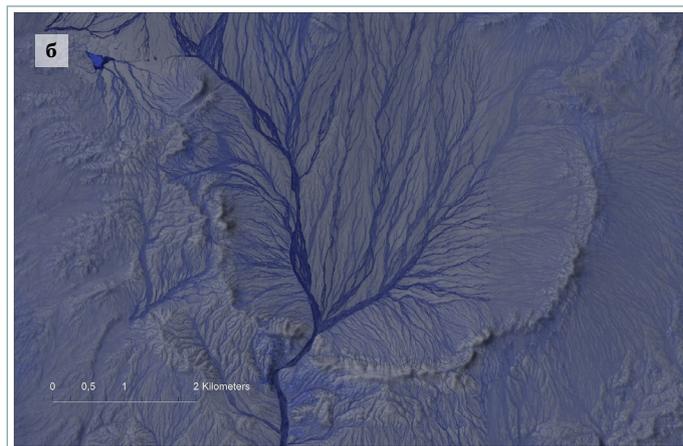
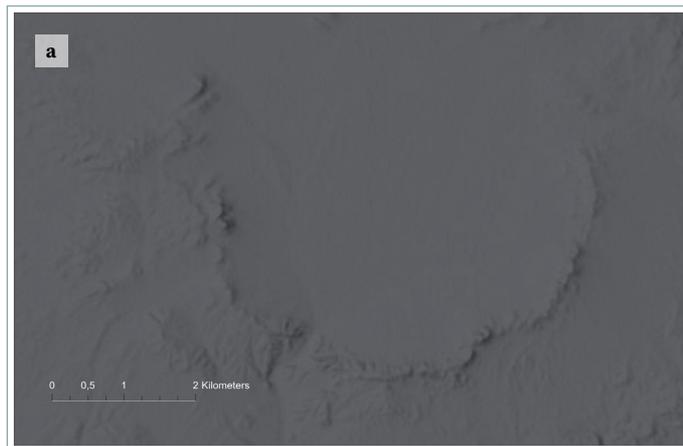


Рис. 18 ➤

Вид на кратер Цэнхэр. Landsat 8 OLI_TIRS от 20.06.2014, Landsat ID: 2014-06-20. 04:06:36.0711040Z-LC08_L1TP_135030_20140620_20200911_02_T1. Band 8 PAN (а), обработка данных снимка. Визуализирован показатель – «крутизна склонов» (градусы) (б). Масштаб 1 : 6 000

Fig. 18

View of Tsenkher crater. Landsat 8 OLI_TIRS from 2014-06-20, Landsat ID: 2014-06-20. 04:06:36.0711040Z-LC08_L1TP_135030_20140620_20200911_02_T1. Band 8 PAN (a), image data processing. The slope steepness (degrees) indicator is visualized (b). Scale 1 : 6,000

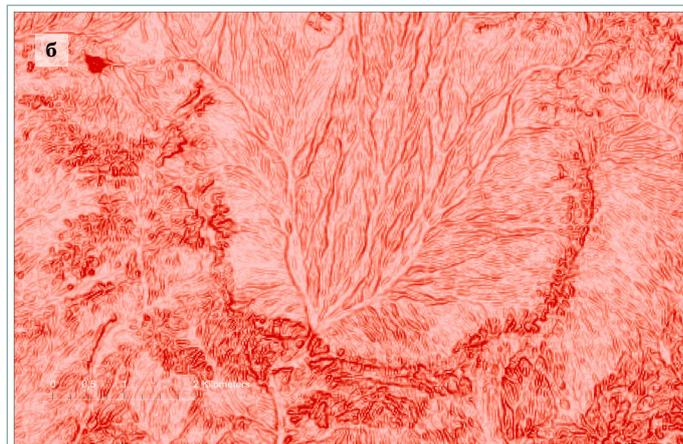
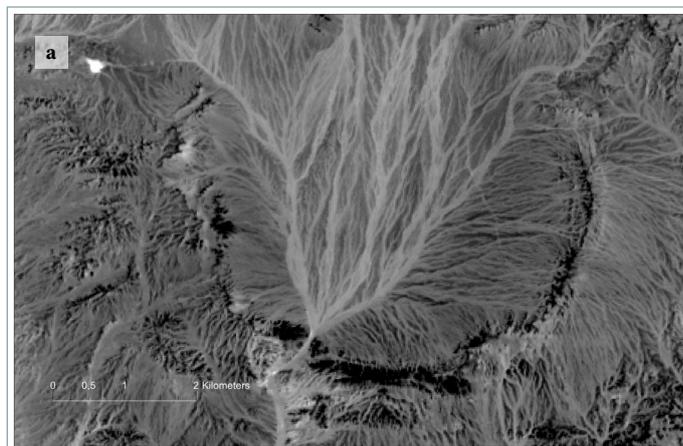


Рис. 19 ➤

Положение импактной структуры Цэнхэр (Tsenkher structure). На снимке обозначена территория Монголии. Изображение на основе использования комбинированного метода визуализации высотных данных RRIM. Базовый слой: World Dark Canvas, Esri (версия 2023). Масштаб 1 : 2 600 000

Fig. 19

Position of the Tsenkher impact structure. The image shows the territory of Mongolia. Image based on the combined method of visualization of high-altitude data RRIM. Base layer: World Dark Canvas, Esri in version 2023. Scale 1 : 2,600,000

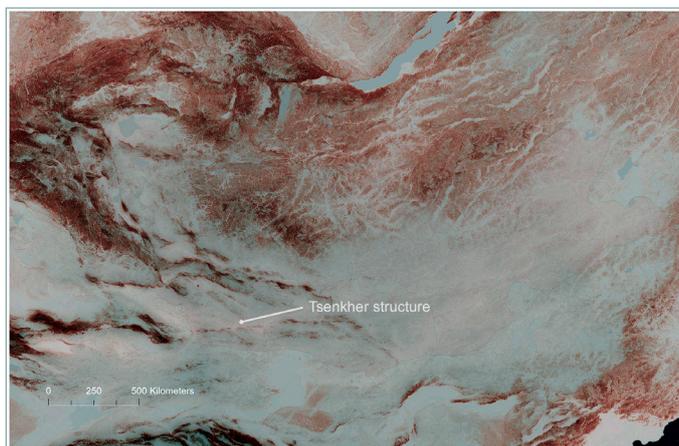


Рис. 20 ➤

Положение импактной структуры Цэнхэр (Tsenkher structure). На снимке обозначена территория Монголии. Изображение на основе использования комбинированного метода визуализации высотных данных RRIM. Базовый слой: World Hillshade (Dark), Esri (версия 2023). Масштаб 1 : 800 000

Fig. 20

Position of the Tsenkher impact structure. The image shows the territory of Mongolia. Image based on the combined method of visualization of high-altitude data RRIM. Base layer: World Hillshade (Dark), Esri in version 2023. Scale 1 : 800,000

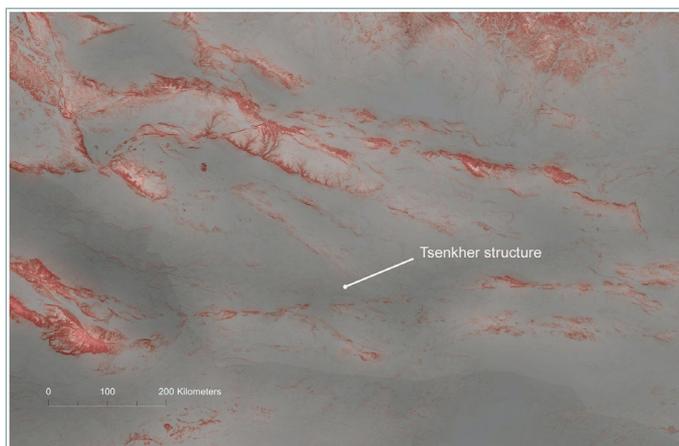


Рис. 21 ➤

Вид на кратер Цэнхэр. Landsat 8 OLI_TIRS от 20.06.2014, Landsat ID: 2014-06-20.04:06:36.0711040Z-LC08_L1TP_135030_20140620_20200911_02_T1. Band 8 PAN (a). Обработка данных снимка. Изображение на основе использования комбинированного метода визуализации высотных данных RRIM (б). Масштаб 1 : 12 000

Fig. 21

View of Tsenkher crater. Landsat 8 OLI_TIRS from 20.06.2014, Landsat ID: 2014-06-20.04:06:36.0711040Z-LC08_L1TP_135030_20140620_20200911_02_T1. Band 8 PAN (a). Image data processing. Image based on the combined method of visualization of vertical data RRIM (б). Scale 1 : 12,000

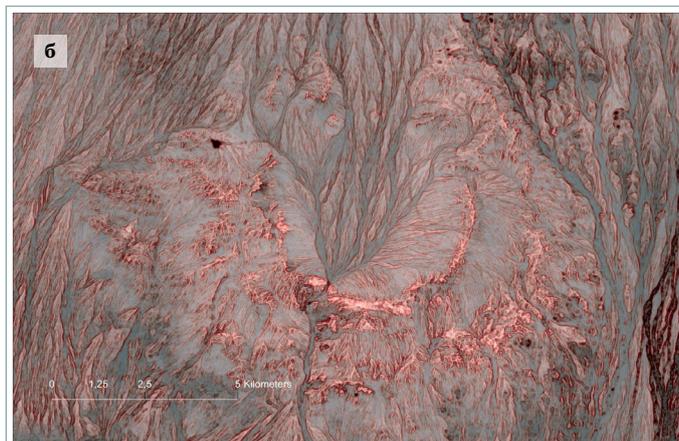
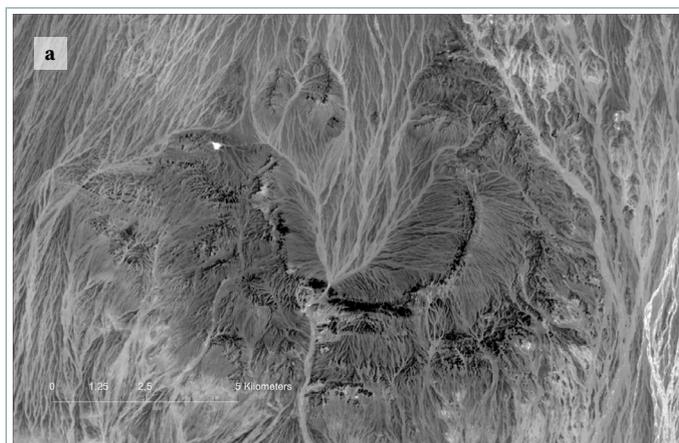


Рис. 22 ➤

Вид на кратер Цэнхэр. Сезонные изменения — рисунок и глубина водотоков. Обработка данных снимка. Landsat ID: 2014-06-20. 04:06:36.0711040Z (a). Обработка данных снимка. Landsat ID: 2023-09-09. 04:06:55.4259660Z. Изображения на основе использования комбинированного метода визуализации высотных данных RRIM (б). Масштаб 1 : 6 000

Fig. 22

View of Tsenkher crater. Seasonal changes – the pattern and depth of streams. Image data processing. Landsat ID: 2014-06-20. 04:06:36.0711040Z (a). Image data processing. Landsat ID: 2023-09-09. 04:06:55.4259660Z. Images based on the use of a combined method of visualizing vertical data RRIM (б). Scale 1 : 6,000

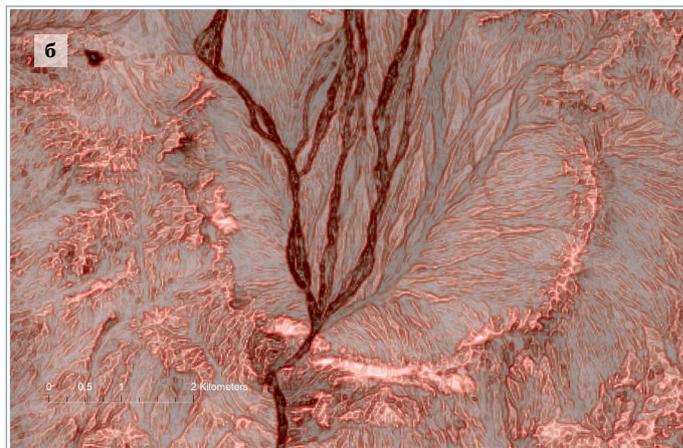
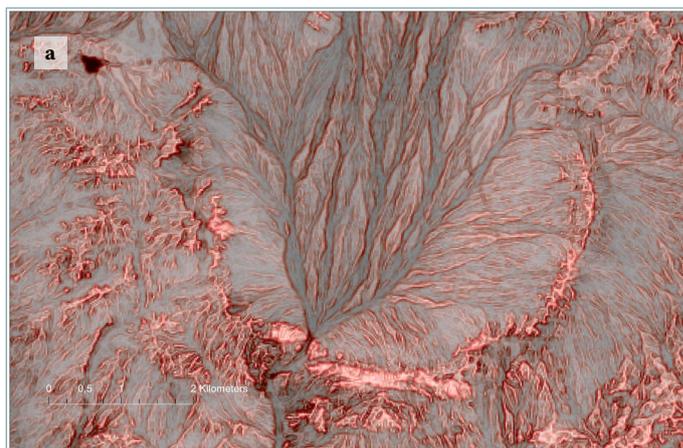
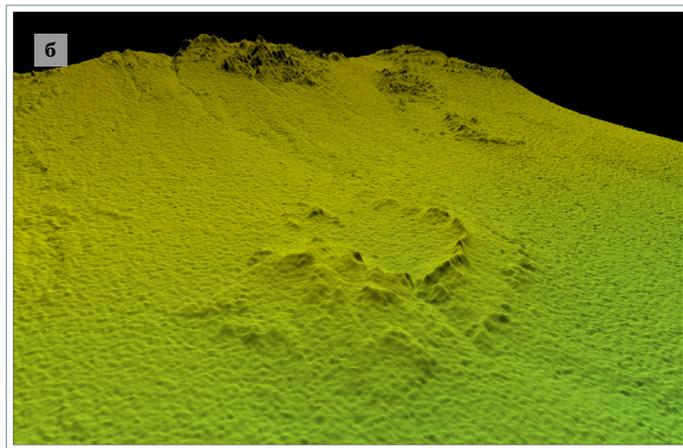
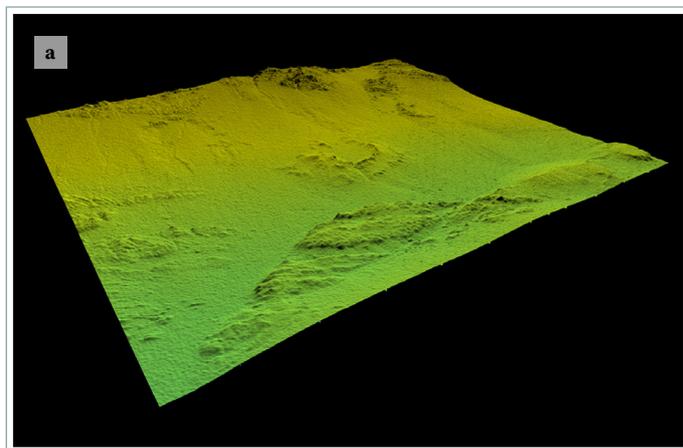


Рис. 23 ➤

Трехмерная модель участка, созданная на основе данных цифровой модели поверхности NASADEM. Вид на метеоритный кратер Цэнхэр с юго-запада. Положение импактной структуры на склоне (а), крупный план, хорошо виден пролом кратера на юго-западе (б). Результат использования приложения Global Mapper v21.00. Вертикальный масштаб 1 : 15

Fig. 23

A 3D model of the site created from NASADEM digital surface model data. View of the Tsenkher meteorite crater, from the southwest. The position of the impact structure on the slope (a), close-up, the crater breach in the southwest is clearly visible (б). Result of using the Global Mapper v21.00 application. The vertical scale is 1 : 15





Visualization of data on the morphological features of ring structures: using the example of the Tsenkher meteorite crater (Gobi Altai)

Said N. Abdulmyanov^{1,2}✉, S. Khadbaatar³, Ilya K. Semerenko²

¹ Vernadsky State Geological Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Moscow, Russia

³ Mongolian National University of Education, Ulaanbaatar, Mongolia

✉ abdulmyanov@gmail.com

CITATION Abdulmyanov SN, Khadbaatar S, Semerenko IK. Visualization of data on the morphological features of ring structures: using the example of the Tsenkher meteorite crater (Gobi Altai). *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(1): 64–89. DOI:10.30533/GiA-2025-004.

KEYWORDS terrain, satellite data, geomorphological features, field research methods, ring structures, astrobleme, analytical hillshading, depiction of landforms on maps

ABSTRACT Many of the known impact structures have been discovered by analyzing characteristic morphological features using geoinformation systems and remote sensing data. Satellite data and GIS capabilities allow for interpretation, visual assessment of meteorite craters, and presentation of morphological features of objects. However, obvious morphological expressions do not always correspond to structural forms. Morphological features of many geological objects, clearly visible when analyzing satellite images and displayed on maps, may be completely unobvious when passing field routes and conducting visual surveys. This is relevant for identifying many astroblemes. Among the huge number of astroblemes, only a small part of them has obvious morphological features. Impact structures have different preservation – deformation features, degree of surface destruction, burial conditions, and topographic openness. As a result of conducting a full cycle of research works on studying geomorphology, lithology, petrography, conducting field work including passing routes, conducting surveys, sampling and subsequent office processing, it becomes possible to diagnose the genesis of asteroid craters. Using the example of meteorite craters, it is possible to trace the tasks of decoding ring structures of varying degrees of complexity. Well-preserved ring structures are examples of data visualization and visual representation of surface relief.

ACKNOWLEDGEMENTS The authors thank the researcher of the nature and mineral resources of Mongolia, candidate of geological and mineralogical sciences M.N. Grechukhin, who provided assistance in working on the substantive part of this review, and also express gratitude to R.Ch. Arifulov for his leadership of this information project and its technical support.

- REFERENCES**
- Gurevich DV. Kol'cevye struktury: vazhnejshie mehanizmy obrazovaniya [Ring structures: the most important mechanisms of formation]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2009;39: 14–23. (In Russian).
 - Becker L, Poreda RJ, Basu AR, et al. Bedout: A possible end-Permian impact crater offshore of Northwestern Australia. *Science*. 2004;304(5676): 1469–1476. DOI:10.1126/science.1093925.
 - Macdonald FA, Bunting JA, Cina SE. Yarrabubba – a large, deeply eroded impact structure in the Yilgarn Craton, Western Australia. *Earth and Planetary Science Letters*. 2003;213(3-4): 235–247. DOI:10.1016/S0012-821X(03)00322-4.
 - Erickson TM, Kirkland CL, Timms NE, et al. Precise radiometric age establishes Yarrabubba, Western Australia, as Earth's oldest recognised meteorite impact structure. *Nature Communications*. 2020;11(1): 300. DOI:10.1038/s41467-019-13985-7.
 - Meschede M, Warr LN. Asteroid Craters. *The Geology of Germany. Regional Geology Reviews*. Springer, Cham; 2019: 251–257. DOI:10.1007/978-3-319-76102-2_15.
 - Kenkmann T. The terrestrial impact crater record: A statistical analysis of morphologies, structures, ages, lithologies, and more. *Meteoritics & Planetary Science*. 2021;56(5): 1024–1070. DOI:10.1111/maps.13657.
 - Kennelly P, Kimerling AJ. Modifications of Tanaka's Illuminated Contour Method. *Cartography and Geographic Information Science*. 2001;28(2): 111–123. DOI:10.1559/152304001782173709.
 - Chiba T, Kaneta S, Suzuki Y. Red Relief Image Map: New visualization method for three dimensional data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2008;37(B2): 1071–1076.
 - Chiba T, Hasi B. Ground surface visualization using Red Relief Image Map for a variety of map scales. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2016;41(B2): 393–397. DOI:10.5194/isprsarchives-XLI-B2-393-2016.
 - No T, Hiramatsu T, Sato T, et al. Red relief image map and integration of topographic data in and around the Japan Sea. *JAMSTEC Report of Research and Development*. 2016;22: 13–29. (In Japanese). DOI:10.5918/jamstecr.22.13.
 - Samsonov T. Granularity of Digital Elevation Model and Optimal Level of Detail in Small-Scale Cartographic Relief Presentation. *Remote Sensing*. 2022;14(5): 1270. DOI:10.3390/rs14051270.
 - Sparavigna AC. *Craters in Maps given by Spaceborne Digital Elevation Models*. 2022. Available from: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03607208> (Accessed 29 September 2024).
 - Douglass NAK, Fish CS. That's a Relief: Assessing Beauty, Realism, and Landform Clarity in Multilayer Terrain Maps. *Cartographic Perspectives*. 2022;100: 43–66. DOI:10.14714/CP100.1727.
 - Schmieder M, Seyfried H, Gerel O. The circular Uneged Uul structure (East Gobi Basin, Mongolia) – Geomorphic and structural evidence for meteorite impact into an unconsolidated coarse-clastic target? *Journal of Asian Earth Sciences*. 2013;64(5): 58–76. DOI:10.1016/j.jseaes.2012.11.042.
 - Amgaa T, Mader D, Reimold WU, et al. Tabun Khara Obo impact crater, Mongolia: Geophysics, geology, petrography, and geochemistry. *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI: Geological Survey of America*. Reimold W.U., Koeberl C. (eds.). 2021;550: 81–132. DOI:10.1130/2021.2550(04).
 - Cohen KM, Finney SC, Gibbard PL, et al. The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*. 2013;36(3): 199–204. DOI:10.18814/epiiugs/2013/v36i3/002.
 - Komatsu G, Olsen JW, Ormö J, et al. The Tsenkher structure in the Gobi-Altai, Mongolia: Geomorphological hints of an impact origin. *Geomorphology*. 2006;74(14): 164–180. DOI:10.1016/j.geomorph.2005.07.031.
 - Komatsu G, Ormö J, Bayaraa T, et al. The Tsenkher structure in the Gobi-Altai, Mongolia; preliminary results from the 2007 expedition. *39th Lunar and Planetary*

- Science Conference (Lunar and Planetary Science XXXIX) (League City, Texas, March 10–14, 2008)*. 2008;1391: 1622.
19. Komatsu G, Ormö J, Bayaraa T, et al. Further evidence for an impact origin of the Tsenkher structure in the Gobi-Altai, Mongolia: Geology of a 3.7 km crater with a well-preserved ejecta blanket. *Geological Magazine*. 2019;156(1): 1–24. DOI:10.1017/S0016756817000620.
 20. Saltykovskiy AYa, Tselmovich VA, Bayaraa T, et al. Impaktnyj krater i sostav kosmicheskogo veshhestva v rannepaleozojskoj strukturnoj zone Juzhnoj Mongolii [Impact crater and composition of cosmic matter in the early Paleozoic structural zone of Southern Mongolia]. *Proceedings of XII International Conference “Physicochemical and Petrophysical Problems in Earth Sciences” (Moscow, October 3–5, 2011; Borok, October 6, 2011)*. Moscow, 2011: 274–279. (In Russian).
 21. Saltykovskiy AYa, Nikitin AN, Tselmovich VA, et al. *Impaktnyj krater i sostav kosmicheskogo veshhestva v Central'noj Azii* [Impact crater and composition of cosmic matter in Central Asia]. 2012: 1–16. (In Russian). DOI:10.13140/RG.2.2.17623.68003.
 22. Tselmovich VA. Samorodnye metally i kosmicheskie mineraly iz astroblemy Cjenhjer [Native metals and space minerals from the Tsenkher astrobleme]. *Minerals: structure, properties, research methods: Proceedings of the IV All-Russian youth scientific conference (Ekaterinburg, October 15–18, 2012)*. Ekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2012: 257–259. (In Russian).
 23. Goudie A. *Arid and Semi-Arid Geomorphology*. Cambridge University Press, 2013. 454 p.
 24. Beresneva IA. *Klimaty aridnoj zony Azii* [Climates of the arid zone of Asia]. Gunin PD. (ed.). Moscow: Nauka; 2006. 286 p. (In Russian).
 25. Heiner M, Batsaikhan N, Galbadrakh D, et al. Towards a National GIS Model to Map Terrestrial Ecosystems in Mongolia: A Pilot Study in the Gobi Desert Region. *Proceedings of the Trans-disciplinary Research Conference: Building Resilience of Mongolian Rangelands (Ulaanbaatar, Mongolia, June 9–10, 2015)*. Ulaanbaatar, 2015: 24–34. Available from: <https://mountainscholar.org/items/f270edf3-2db1-47f5-91a4-b1fd6d8367e4> (Accessed 29 September 2024).
 26. Reynard E, Coratza P, Regolini-Bissig G. *Geomorphosites*. Munchen: Verlag Dr. Friedrich Pfeil; 2009. 240 p.

AUTHORS Said N. Abdulmyanov

Vernadsky State Geological Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Moscow, Russia
Geocology Department, Faculty of Petroleum Geology and Geophysics
PhD in Geography, Associate Professor
 0000-0003-2053-8230

Sandag Khadbaatar

Mongolian National University of Education, Ulaanbaatar, Mongolia
Geocology Department, Institute of Mathematics and Natural Sciences
PhD in Geography, Professor

Ilya K. Semerenko

National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Moscow, Russia
Geocology Department, Faculty of Petroleum Geology and Geophysics

Submitted: October 03, 2024. Accepted: February 21, 2025. Published: February 28, 2025.



Трансформация познавательной концепции картографии

Л.К. Радченко¹ 

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Новосибирск, Россия

 l.k.radchenko@sgugit.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Радченко Л.К. Трансформация познавательной концепции картографии // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 1. С. 90–98. DOI:10.30533/GiA-2025-005.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА концепции развития картографии, познавательная картография, познавательные геопространственные модели и карты

АННОТАЦИЯ В статье описывается существенная трансформация познавательной концепции развития картографии. Приведен обзор работ, которые ориентированы на разнообразные потребности хозяйствующих субъектов и широких слоев населения. Дана сводная таблица концепций развития картографии. Приведены примеры различных видов познавательной картографической продукции, рассмотрены особенности каждого из ее видов. Объясняется, какие научные, технологические и социальные предпосылки в обществе способствовали существенному преобразованию давно сложившейся познавательной концепции. На основании выявленных предпосылок определена суть концепции, которая заключается в создании картографической продукции и обеспечении широких слоев населения уникальными знаниями об объектах и явлениях окружающего пространства в графическом наглядном виде. Сформулированы задачи и особенности познавательной картографии. Дана новая уточненная трактовка познавательной концепции развития картографии, где карта выступает не только как модель действительности, но и как источник знаний для развития кругозора и появления произвольного желания к самообразованию и вдохновения к саморазвитию, а также как социальный инструмент для воздействия на сознание населения. Спрогнозирован курс на персонализацию создания картографических произведений.

1 Введение

В настоящее время благодаря результатам пятого и плавному переходу к шестому технологическому укладу технико-экономического развития [1] картография широко внедрилась в социум. Картографическая продукция стала ориентироваться уже «не только на удовлетворение отраслевых потребностей и на узкий круг специалистов и специализированных организаций, а на самые разнообразные потребности хозяйствующих субъектов и широких слоев населения» [2, с. 13]. В экосистему геопространства стали входить уже миллиарды людей. Население (даже не обладающее специальным картографическим образованием) широко использует и создает картографические произведения. В научных статьях рассматривается создание ментальных карт [3], карт-историй [4], в сети Интернет встречаются обзоры сервисов, позволяющих наносить тематические элементы на уже созданные географические основы¹, детских программных продуктов и игр, основанных на картографических построениях². Существуют работы по критической картографии, где карта выступает как инструмент, транслирующий идеологии или ценности, влияющие на политические взгляды пользователей³. Известны также случаи, когда в создании субъективных атласов использовались материалы, собранные местными жителями (графики, карты, фотографии и всевозможные другие визуализации), пропущенные через знания картографирования объектов и явлений⁴. Пользователям карт стали интересны такие продукты, которые развивают их кругозор и формируют мотивацию к самообразованию и саморазвитию. Это познавательные карты и геоинформационные модели территорий, познавательные картографические игры, карты и геоинформационные модели познавательного туризма и др. Познавательные картографические продукты создавали и во времена советской картографии, но в настоящее время сформировался ряд условий для дальнейшего развития этого раздела картографии.

Цель данного исследования заключается в выявлении факторов, которые привели к существенной трансформации познавательной концепции развития картографии.

2 Материалы и методы

На протяжении многих веков картография развивалась на основе различных концепций, описанных в научных трудах ученых-картографов. В табл. 1⁵ приведена краткая информация об этих концепциях и их создателях.

Данное исследование предпринято в рамках научно-познавательной, или модельно-познавательной, концепции. В качестве метода исследования использован метод познавательного геопространственного моделирования,

1 6 сервисов, где можно сделать интерактивную карту. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.unisender.com/ru/blog/kak-sdelat-interaktivnyu-kartu> (дата обращения: 14.10.2024).

2 Игры с географическими картами. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.psichologicheskoezerkalo.ru/igry-s-geograficheskimi-kartami.html> (дата обращения: 14.10.2024);

3 5 географических игр, для того чтобы интересно провести время. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dtf.ru/flood/86777-5-geograficheskikh-igr-dlya-togo-chtoby-interesno-provesti-vremya> (дата обращения: 14.10.2024).

4 Критическая картография. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cartetika.ru/tpost/9unouo5vo1-kriticheskaya-kartografiya> (дата обращения: 14.10.2024).

5 The problem of cartography: from singular to plural mapping. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.academia.edu/108488011/The_problem_of_cartography_from_singular_to_plural_mapping (дата обращения: 15.10.2024).

6 Берлянт А.М. Картография: учебник для вузов. М.: Аспект Пресс, 2001. 336 с.

Таблица 1

Концепции развития картографии

Table 1

Concepts for the development of cartography

Название концепции	Время развития	Основатели	Сущность
Научно-познавательная (модельно-познавательная)	XIX – начало XX века	А.А. Тилло, Д.Н. Анучин, А.А. Борзов, Ю.М. Шокальский	Сделан упор на изучение теории, методов отображения и исследования геосистем и их компонентов посредством картографического моделирования, а сама карта рассматривается как модель действительности
	1940-е годы и позже	Н.Н. Баранский, К.А. Салищев, И.П. Заруцкая, А.В. Гедымин, А.Г. Исаченко	
Коммуникативная	1960–1970-е годы	Е. Арнбергер (Австрия), А. Колачний (Словакия), А. Робинсон (США)	Согласно этой концепции, картография — это наука о передаче пространственной информации, а карта — канал информации и средство коммуникации. При этом картография рассматривается как одна из отраслей информатики, тесно связанная с теорией информации, автоматикой, теорией восприятия
Языковая (картоязыковая)	1970–1980-е годы	А.Ф. Асланикашвили, М.К. Бочаров, А.А. Лютый, Я. Правда	Картография трактуется как наука о языке карты, а сама карта — как текст, составленный с помощью условных знаков. Картография выступает как отрасль лингвистики и семиотики, а предметом ее исследования являются картографические знаковые системы
Геоинформационная	1980-е годы и позже	А.М. Берлянт	Картография выступает как наука о системном информационно-картографическом моделировании и познании геосистем, тесно связанная с геоинформатикой, науками о Земле и обществе. Карта рассматривается как образно-знаковая геоинформационная модель действительности, являющаяся одновременно инструментом познания, способом аналогового моделирования и средством передачи информации

который заключается в разработке и создании познавательной геопространственной продукции, содержащей уникальные знания об объектах и явлениях картографирования для разных направлений познания окружающего пространства и отображенной в виде условных знаков, адаптированных для определенного класса пользователей и реализованных через разные формы представления картографического изображения (аналоговое, цифровое, аналого-цифровое). Сама же познавательная картография включает в себя не только создание, но и использование познавательной картографической продукции.

Содержание познавательной геопространственной продукции зависит от вида деятельности, профессии и возраста пользователя [5], а также от вида самой продукции. Выделяется несколько видов познавательной геопространственной продукции.

Познавательные геопространственные модели

Примером может служить геопространственная модель познавательного туризма по Новосибирской области (рис. 1), которая состоит из общегеографических и тематических слоев. Особенностью модели является база данных по объектам познавательного туризма и слой с туристским маршрутом «Два дня по Новосибирской области».

Познавательные карты

В качестве примера может выступать карта «Новосибирская область в цифрах» (рис. 2). Содержание карты состоит из общегеографических и тематических элементов. Особенность карты заключается в том, что основная часть тематической составляющей представлена в инфографическом виде и характеризует картографируемую территорию в количественных показателях.

Познавательные атласы

Примером может служить интерактивный познавательный атлас «Новосибирская область для детей» (рис. 3). Атлас состоит из следующих карт: «Новосибирская область в цифрах», «Удивительная природа», «Уникальные места», «Выдающиеся люди». Особенностью атласа является то, что он дает ребенку полное представление о регионе, дети в интересной интерактивной форме могут получить знания о Новосибирской области.

Познавательные картографические игры, раскраски для детей и скретч-карты со стираемым слоем

В качестве примера можно привести напольную познавательную игру (рис. 4), содержание которой состоит из общегеографических, тематических и игровых элементов. Особенностью этого продукта является неординарная подача знаний о регионе с помощью игры.

Рис. 1

Геопространственная модель познавательного туризма по территории Новосибирской области (выполнила под руководством автора ст. гр. МГК-21 СГУГиТ Л.В. Тишина, 2024 г.)

Fig. 1

Geospatial model of educational tourism to the territory of the Novosibirsk region (completed by L.V. Tishina, a student of the MGk-21 group, SSUGT, under the guidance of the article's author, 2024)

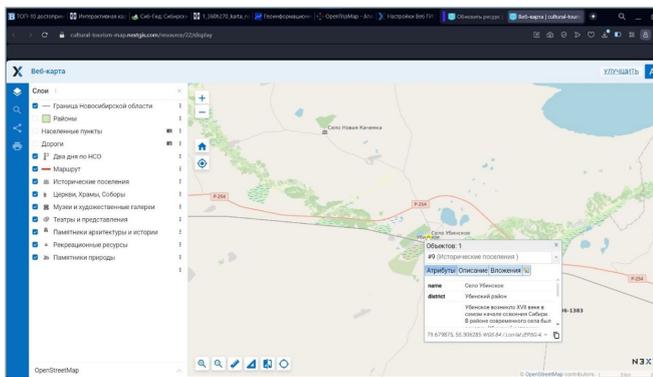


Рис. 3

Интерактивный познавательный атлас «Новосибирская область для детей» (выполнила под руководством автора ст. гр. МГК-21 СГУГиТ В.А. Липовицкая, 2024 г.)

Fig. 3

Interactive educational atlas “Novosibirsk region for children” (completed by V.A. Lipovitskaya, a student of the MGk-21 group, SSUGT, under the guidance of the article's author, 2024)



Рис. 2

Познавательная карта «Новосибирская область в цифрах» (выполнила под руководством автора ст. гр. БК-31 СГУГиТ К.А. Есипова, 2024 г.)

Fig. 2

Educational map “Novosibirsk region in numbers” (completed by K.A. Esipova, a student of the BK-31 group, SSUGT, under the guidance of the article's author, 2024)

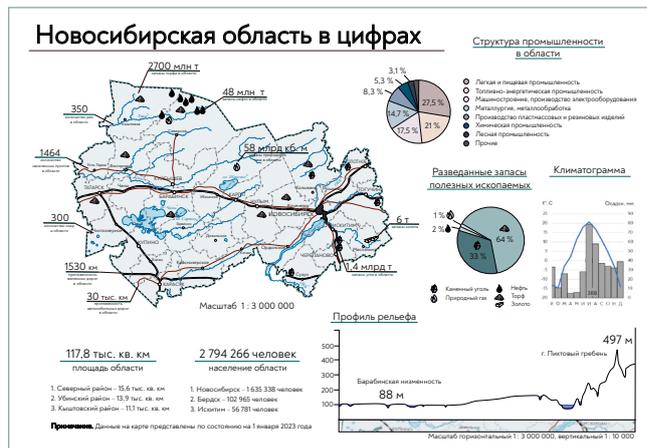


Рис. 4

Познавательная напольная карта «Достопримечательности Новосибирской области» (выполнила под руководством автора ст. гр. БК-31 СГУГиТ К.А. Есипова, 2024 г.)

Fig. 4

Educational floor map “Attractions of the Novosibirsk Region” (completed by K.A. Esipova, a student of the BK-31 group, SSUGT, under the guidance of the article's author, 2024)



3 Результаты и обсуждение

Целый ряд предпосылок способствовал преобразованию познавательной концепции картографии и, как следствие, возникновению такого раздела картографии, как познавательная картография. Эти предпосылки можно разделить на научные, технологические и социальные. Рассмотрим их с позиции объяснительной функции науки.

Научные предпосылки

В конце 90-х годов прошлого столетия сформировалось новое направление в картографии — геоинформационное картографирование — автоматизированное создание и использование карт на основе ГИС и баз картографических данных и знаний, суть которого заключается в информационно-картографическом моделировании геосистем⁶. Оно характеризуется высокой степенью автоматизации, опорой на базы цифровых картографических данных и базы географических знаний, системный подход к отображению и анализу геосистем, интерактивность картографирования, обеспечивающую тесное сочетание методов создания и использования карт⁶.

На базе геоинформационного картографирования успешно сформировались и активно развиваются такие направления, как мультимедийная, навигационная, многомерная, мобильная, веб-картография, когнитивная и познавательная картография [6, 7].

Картография развивается также в рамках социального явления — краудсорсинга, в ходе которого используются творческие способности, опыт и научные знания широкого круга лиц для решения тех или иных производственных задач и проблем на добровольной и безвозмездной основе [8]. Краудсорсинг представляет собой процесс накопления данных и знаний с привлечением больших групп «распределенных» добровольцев к генерированию идей и решений⁷. Эти накопленные данные и знания широко применяются при разработке и создании познавательной картографической продукции.

Технологические предпосылки

Эти предпосылки проявляются в развитии компьютерных технологий и появлении новых достижений 4-й индустриальной революции [1], формирующих принципиально новые возможности в картографии. Картография всегда реагировала на появление новой техники и новых технологий, поэтому и в этот раз отреагировала на технологический компьютерный прогресс, кардинально поменяв технологии составления, издания и использования карт широкими слоями населения.

Появился Интернет, программы на основе открытого исходного кода и открытые данные для создания и применения картографических продуктов широким кругом пользователей. Появились различные аппаратные средства для сбора данных, информационно-коммуникационные мобильные и стационарные устройства постоянно генерируют и обрабатывают гигантский объем информации, формируя большие данные. Унификация и открытые стандарты обмена информацией позволяют часто полностью автоматически агрегировать в ГИС данные из самых разных внешних источников. А поскольку пользователю очень сложно работать с большими данными, и одним из самых наглядных графических отображений является картографическое [9], то для показа нужной познавательной информации очень эффективными стали познавательные карты и модели.

6 Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. М.: Астрей, 1997. 64 с.

7 Greengard S. Crowdsourcing. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.britannica.com/money/crowdsourcing> (дата обращения: 14.10.2024).

Используя геолокацию, различные мобильные и навигационные приложения, пользователь может делиться своим местоположением на карте, составлять маршруты [10, 11], в том числе для познавательного туризма, следить за детьми и престарелыми родителями, пользоваться опцией онлайн-общения с организациями, предоставлять данные о своем местоположении и маршрутах в качестве источника картографических данных. Анализ данных беспилотных устройств (фото- и видеоматериалы, маршруты, облака точек, данные датчиков температуры, освещенности, скорости и т. д.) позволяет в реальном времени актуализировать картографические материалы и базы данных.

Социальные предпосылки

С появлением Интернета и смартфонов возникли социальные сети, пользователи стали обмениваться различными данными путем переписки, появилась возможность выкладывать различные картографические произведения на общее обозрение. Всевозможные ресурсы и сервисы хорошо проработали интерфейсы, они стали интуитивно понятными для пользователей, как следствие, появились интуитивно понятные условные знаки. Любой пользователь может после регистрации внести в народную карту (например, «Яндекс. Карты») изменения, произошедшие на местности. Появились ресурсы, позволяющие выкладывать фотографии, причем позиционируя их по координатам, а также ресурсы, с помощью которых неподготовленные пользователи могут сами создавать картографические произведения. Кроме того, благодаря возможностям Интернета и смартфонизации пользователи хотят быстро и оперативно получать знания, что очень удобно делать с помощью познавательных картографических произведений.

На основании выявленных предпосылок сформулируем суть познавательной картографии, которая заключается в создании картографической продукции и обеспечении широких слоев населения уникальными знаниями об объектах и явлениях окружающего пространства в графическом наглядном виде.

К задачам познавательной картографии относятся:

- создание познавательной картографической продукции с помощью современных методов и средств картографического производства;
- разработка новых видов познавательной картографической продукции;
- усовершенствование графических средств отображения знаний на познавательных картах;
- использование познавательной картографической продукции.

Особенности познавательной картографии:

- определение и отображение уникальных знаний о картографируемой территории;
- минимизация легенды за счет интуитивно понятных условных знаков;
- увлекательная и занимательная форма подачи знаний об окружающем пространстве;
- применение и разработка новых графических изобразительных средств и дизайна.

4 Выводы

На основе вышесказанного можно сделать вывод о том, что в настоящее время познавательная концепция благодаря всем произошедшим технологическим, научным и социальным изменениям приобрела новое значение, поэтому ее определение следует расширить и дополнить. Итак, познавательная концепция рассматривает картографию как науку о познании действительности посредством картографического моделирования⁸ и передачи знаний широкому кругу

⁸ Берлянт А.М. Картография: учебник для вузов. М.: Аспект Пресс, 2001. 336 с.

пользователей, а саму карту — как модель действительности, источник знаний для развития кругозора и появления произвольного желания к самообразованию и вдохновения к саморазвитию, а также как социальный инструмент для воздействия на сознание населения.

В будущем мощные технологические методы и средства дают курс на персонализацию создания картографических произведений. С помощью искусственного интеллекта станет возможным выявить точки интереса у пользователей (например, узнать у пользователя, какая в данный момент для решения конкретной задачи ему нужна карта, с каким содержанием и оформлением), учитывая его уровень образования и степень подготовки к восприятию новых знаний. С помощью методов анализа изображения и компьютерного зрения также будут предлагаться готовые шаблоны условных знаков и цветовых схем в зависимости от вида деятельности, профессии и возраста пользователя. При создании карт станет возможным использовать готовые базы знаний по разным отраслям, что позволит не приглашать для сотрудничества специалиста той отрасли, на тему которой создается карта, а картографу — вникать в предметную область. В дальнейшем научные, технологические и социальные предпосылки сыграют свою роль в развитии познавательной концепции.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Глазьев С.Ю., Косакян Д.Л. Состояние и перспективы формирования 6-го технологического уклада в российской экономике // Экономика науки. 2024. Т. 10. № 2. С. 11–29. DOI:10.22394/2410-132X-2024-10-2-11-29.
2. Лисицкий Д.В. Перспективы развития картографии: от системы «Цифровая земля» к системе виртуальной геореальности // Вестник СГГА. 2013. Т. 2. № 22. С. 8–16.
3. Стрельникова А.В. Социальное картографирование: эволюция метода // Вестник РГГУ. Серия: Философия. Социология. Искусствоведение. 2013. Т. 2. № 103. С. 210–217.
4. Карташова К.В., Колесников А.А. Сравнительный анализ программных инструментов создания карт-историй // Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29. № 3. С. 97–104. DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-3-97-104.
5. Радченко Л.К. Разработка концепции познавательного картографирования // Геодезия и картография. 2024. № 7. С. 25–33. DOI:10.22389/0016-7126-2024-1009-7-25-33.
6. Андрухина Ю.Н., Бугаков П.Ю., Касьянова Е.Л. и др. Цифровая картография: монография / под науч. ред. Д.В. Лисицкого. Новосибирск: СГУГиТ, 2023. 442 с.
7. Карпик А.П., Лисицкий Д.В. Исследование мировых трендов и обоснование направлений развития сферы геодезии и картографии РФ до 2023 года // Геопрофи. 2021. № 1. С. 4–11.
8. Занозин В.В., Шабанов Д.И., Иолин М.М. и др. Геоинформационное картографирование и мониторинг качества сотовой связи на основе данных краудсорсинга // Природные системы и ресурсы. 2015. Т. 2. № 12. С. 81–86. DOI:10.15688/jvolsu11.2015.2.10.
9. Ki J. GIS and Big Data visualization // Geographic Information Systems and Science. J. Rocha and P. Abrantes (ed.). IntechOpen, 2018. P. 119–131. DOI:10.5772/intechopen.82052.
10. Утробина Е.С. Мобильная картография. Особенности, свойства и понятие мобильной карты // Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 3. № 29. С. 105–117. DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-3-105-117.
11. Утробина Е.С., Кокорина И.П., Молокина Т.С. Выявление новой функции картографических изображений, представленных в мобильных устройствах // Вестник СГУГиТ. 2022. Т. 27. № 2. С. 149–162. DOI:10.33764/2411-1759-2022-27-2-149-162.

АВТОР Радченко Людмила Константиновна

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра картографии и геоинформатики, Институт геодезии и менеджмента
канд. техн. наук, доцент
 0009-0009-0448-8094

Поступила 28.10.2024. Принята к публикации 21.02.2025. Опубликовано 28.02.2025.



Transformation of the cognitive concept of cartography

Lyudmila K. Radchenko¹✉

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
✉ l.k.radchenko@sgugit.ru

CITATION Radchenko LK. Transformation of the cognitive concept of cartography. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(1): 90–98. DOI:10.30533/GiA-2025-005.

KEYWORDS concepts for the development of cartography, cognitive cartography, cognitive geospatial models and maps

ABSTRACT The article is devoted to describing a significant transformation of the cognitive concept of cartography development. The introduction provides an overview of works that are focused on the diverse needs of business entities and the general population, and also states the purpose of the study. The article provides a summary table about the concepts of cartography development. Examples of various types of educational cartographic products are given and the features of each type, carried out within the framework of the topic under study, are given. The article explains what scientific, technological and social preconditions have occurred in society that contribute to a significant transformation of a long-established cognitive concept. Based on the identified prerequisites, the essence has been determined, which is to create cartographic products and provide the general public with unique knowledge about objects and phenomena of the surrounding space in a graphically visual form. The tasks and features of cognitive cartography are also formulated. In the article, a new, refined interpretation of the cognitive concept of the development of cartography is given, where the map acts not only as a model of reality, but also as a source of knowledge for the development of horizons and the emergence of a voluntary desire for self-education and inspiration for self-development, as well as a social tool for influencing consciousness of the population. A course towards personalization of the creation of cartographic works is also predicted.

REFERENCES 1. Glazyev SYu, Kosakyan DL. Sostojanie i perspektivy formirovaniya 6-go tehnologicheskogo uklada v rossijskoj jekonomike [State and prospects for the formation of the 6th technological structure in the Russian economy]. *Economics of Science*. 2024;10(2): 11–29. (In Russian). DOI:10.22394/2410-132X-2024-10-2-11-29.

2. Lisitsky DV. Perspektivy razvitiya kartografii: ot sistemy "Cifrovaja zemlja" k sisteme virtual'noj georeal'nosti [Prospects for the development of cartography: from the "Digital Earth" system to the system of virtual georeality]. *Bulletin of the SSGA*. 2013;2(22): 8–16.
3. Strelnikova AV. Social'noe kartografirovanie: jevoljucija metoda [Social mapping: evolution of the method]. *Bulletin of the Russian State University for the Humanities. Series: Philosophy. Sociology. Art history*. 2013;2(103): 210–217.
4. Kartashova KV, Kolesnikov AA. Sravnitel'nyj analiz programnyh instrumentov sozdaniya kart-istorij [Comparative analysis of software tools for creating story maps]. *Vestnik SSUGT*. 2024;29(3): 97–104. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-3-97-104.
5. Radchenko LK. Razrabotka koncepcii poznavatel'nogo kartografirovanija [Development of the concept of cognitive mapping]. *Geodesy and Cartography*. 2024;7: 25–33. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2024-1009-7-25-33.
6. Andryukhina YuN, Bugakov PYu, Kasyanova EL, et al. *Cifrovaja kartografija* [Digital cartography] [monograph]. Lisitsky DV (ed.). Novosibirsk: SSUGT, 2023. 442 p. (In Russian).
7. Karpik AP, Lisitsky DV. Issledovanie mirovyh trendov i obosnovanie napravlenij razvitiya sfery geodezii i kartografii RF do 2023 goda [Study of world trends and justification of directions for the development of the field of geodesy and cartography of the Russian Federation until 2023]. *Geoprofi*. 2021;1: 4–11. (In Russian).
8. Zanozin VV, Shabanov DI, Iolin MM, et al. Geoinformacionnoe kartografirovanie I monitoring kachestva sotovoj svjazi na osnove dannyh kraudsorsinga [Geoinformation mapping and monitoring of cellular communication quality based on crowdsourcing data]. *Natural Systems and Resources*. 2015;2(12): 81–86. (In Russian). DOI:10.15688/jvolsu11.2015.2.10.
9. Ki J. GIS and Big Data visualization. *Geographic Information Systems and Science*. Rocha J, Abrantes P (ed.). IntechOpen, 2018: 119–131. DOI:10.5772/intechopen.82052.
10. Utrobina ES. Mobil'naja kartografija. Osobennosti, svojstva i ponjatie mobil'noj karty [Mobile cartography. Features, properties and concept of a mobile map]. *Vestnik SSUGT*. 2024;3(29): 105–117. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-3-105-117.
11. Utrobina ES, Kokorina IP, Molokina TS. Vyjavlenie novoj funkcii kartograficheskikh izobrazhenij, predstavlenykh v mobil'nyh ustrojstvah [Identification of a new function of cartographic images presented in mobile devices]. *Vestnik SSUGT*. 2022;27(2): 149–162. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2022-27-2-149-162.

AUTHOR Lyudmila K. Radchenko

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

 0009-0009-0448-8094

Submitted: October 28, 2024. Accepted: February 21, 2025. Published: February 28, 2025.



Исследование взаимоотношений хозяйствующих субъектов на землях и территориях традиционного природопользования в нефтегазодобывающих регионах Крайнего Севера

И.Н. Кустышева¹✉, В.В. Беленко²

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

² Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

✉ kustyshevain@tyuiu.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Кустышева И.Н., Беленко В.В. Исследование взаимоотношений хозяйствующих субъектов на землях и территориях традиционного природопользования в нефтегазодобывающих регионах Крайнего Севера // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 1. С. 99–114. DOI:10.30533/GiA-2025-006.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА земельно-имущественные отношения, Крайний Север, локальный мониторинг земель, нефтегазовое промышленное освоение, территории традиционного природопользования

АННОТАЦИЯ В данной статье авторы рассматривают различие между статусами территории традиционного природопользования и мест (земель) традиционного проживания и природопользования, а также их образование, регулирование и управление ими в законодательной и правовой сфере Российской Федерации. Места традиционного природопользования являются уникальными территориями, население которых традиционно зависит от природных ресурсов в своем существовании и культурном развитии. Особое внимание уделяется взаимодействию хозяйствующих субъектов, так как с развитием нефтегазовой отрасли возникает необходимость в эксплуатации данных ресурсов, что часто приводит к конфликту интересов между недропользователями и местным населением. В данной статье авторами детально изучена эта проблема. Рассмотрено влияние эксплуатации нефтегазовых месторождений на территории, жизнь и культуру населения Крайнего Севера Западной Сибири, а также предложены методы совместной работы заинтересованных лиц для достижения устойчивого развития обеих сфер. Статья освещает проблемы и возможные пути решения конфликтов между различными сторонами и будет полезна для тех, кто занимается управлением территориями и природными ресурсами, аспектами экологии и социальными вопросами природопользования.

1 Введение

Существует различие между статусами территории традиционного природопользования (ТПП) и земель традиционного природопользования, что следует учитывать в законодательной и правовой сфере, а также в сфере управления землей и природными ресурсами. Деятельность на ТПП регулируется специальными федеральными и региональными нормативно-правовыми актами, в то время как деятельность на землях традиционного природопользования — общепринятыми нормативно-правовыми актами, регулирующими земельно-имущественные отношения в Российской Федерации.

Нефтегазовая отрасль является одной из самых важных и доходных отраслей экономики многих стран. С каждым годом спрос на энергоресурсы только растет, и нефтегазовые компании активно осваивают новые месторождения. Однако такое развитие негативно сказывается на землях традиционного природопользования, которые играют ключевую роль в сохранении биологического разнообразия и поддержании устойчивости экосистемы.

Традиционное природопользование на Крайнем Севере¹ относится к способам использования природных ресурсов, развивавшимся и применявшимся коренными народами и традиционными сообществами в данном регионе на протяжении многих поколений. Оно может включать промысел, охоту, рыболовство, сбор дикорастущих ягод и трав, а также использование других ресурсов, которые обеспечивают выживание и культурные потребности этих сообществ.

Традиционное природопользование на Крайнем Севере обычно основывается на глубоких знаниях и передаваемом из поколения в поколение опыте коренных народов. Они разработали уникальные методы использования ресурсов с учетом особенностей местной экосистемы и системы ценностей, которых они придерживаются.

Однако с развитием промышленности и ростом населения на Крайнем Севере традиционное природопользование стало подвергаться угрозе. Промышленная деятельность и строительство инфраструктурных объектов могут негативно влиять на экосистемы и природные ресурсы, которые важны для коренных народов. Кроме того, изменение климата и другие антропогенные факторы также оказывают воздействие на традиционные формы природопользования.

2 Материалы и методы

Важная особенность северных регионов заключается в том, что изменение назначения территории для промышленных целей начинается с процесса «отвода земельных участков», который не всегда является видимым для пространств тундры (и границы земельных участков никаким образом не закреплены на местности). В условиях стремительного индустриального развития Севера Западной Сибири и региона традиционного хозяйствования местные жители видят серьезные угрозы своему образу жизни. Стоит согласиться, что наибольший конфликт интересов промышленного освоения тундровых территорий состоит в угрозе оленеводству в условиях активного внедрения промышленных предприятий ТЭК. Промышленные предприятия и оленеводы часто демонстрируют интерес к использованию одних и тех же участков земли. Оленеводы предпочитают перемещаться по «высоким местам», особенно в период отела оленей весной. Однако при разработке проектной документации для обустройства месторождений и, например, прокладки трубопроводов, дорог промышленные

¹ Понятие «Крайний Север» условное. В обиходе под ним понимают территорию с суровыми климатическими условиями. По отношению к Тюменской области территорией Крайнего Севера принято считать Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа.

компании тоже заинтересованы в данных территориях и лишь условно учитывают тематические карты с установленными маршрутами для передвижения оленей, что приводит к конфликтам интересов. Местные жители выражают недовольство выделением более удобных угодий под промышленные нужды, вызывающим дефицит пастбищ. Промышленная эксплуатация вносит изменения в использование земельных участков, которые в том числе изымаются под индустриальные нужды, что приводит к необходимости пересмотра традиционных маршрутов оленеводческих бригад. Но даже при пересмотре схем маршрутов они неизбежно накладываются на инженерно-транспортную инфраструктуру нефтегазовых регионов.

Оленеводство в течение длительного времени осуществляется на устоявшихся территориях, распределенных между различными родами коренных малочисленных народов Севера (КМНС). С учетом исторического опыта и традиций необходимо обеспечить соблюдение установленных маршрутов и принципов освоения пастбищ, чтобы сохранить баланс в использовании ресурсов данной экосистемы. Вынужденное изменение маршрутов приводит к социальному напряжению между различными группами внутри оленеводческих хозяйств. Есть случаи конфликтов из-за использования пастбищ других семей без их согласия, что приводит к необходимости смещения кочевий и изменениям в традиционной системе землепользования оленеводов [1].

Одним из способов разрешения спорных вопросов хозяйствующих субъектов на землях традиционного природопользования стало создание ТТП. Далее рассмотрим, как они появились и почему в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) до сих пор нет ни одной ТТП.

Предложения о создании ТТП возникли в период перестройки, когда в 1988 году к генеральному секретарю ЦК КПСС М.С. Горбачеву обратилась группа писателей народов Севера с письмом, в котором рассказывалось о тяжелом положении КМНС. Данное письмо было рассмотрено, но официальное признание проблемы произошло уже после распада Советского Союза, в апреле 1992 года, с выходом указа Президента Российской Федерации «О неотложных мерах по защите мест проживания и хозяйственной деятельности малочисленных народов Севера»². Концепция создания ТТП была дальше развита в проектах федеральных и региональных законов, в других документах, касающихся прав и статуса малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока, а также в научных исследованиях. Современная интерпретация ТТП охватывает природные комплексы, на которых коренные малочисленные народы исторически проживают, используют природные ресурсы и осуществляют свою традиционную хозяйственную деятельность.

До 2013 года ТТП обладали статусом особо охраняемых природных территорий (ООПТ), но так как этот статус накладывал достаточно большие ограничения на использование территорий и вызывал сложности в подготовке разрешительной документации по освоению и обустройству нефтегазовых месторождений, был принят закон об отмене статуса ООПТ и признании территорий как особых природных территорий³. Данный вопрос был рассмотрен на совещании в Сургутском районе с губернатором Ханты-Мансийского автономного округа — Югры (ХМАО), председателем общественной экологической организации «Эконадзор» Е.В. Слюсарем и представителями нефтегазовых компаний [2–5].

Но, несмотря на реформирование нормативно-правового законодательства, остаются спорные вопросы, связанные с перспективными направлениями

2 Указ Президента Российской Федерации от 22 апреля 1992 г. № 397 «О неотложных мерах по защите мест проживания и хозяйственной деятельности малочисленных народов Севера». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/2108064/> (дата обращения: 10.10.2024).

3 Федеральный закон от 7 мая 2001 г. № 49-ФЗ «О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_31497 (дата обращения: 10.10.2024).

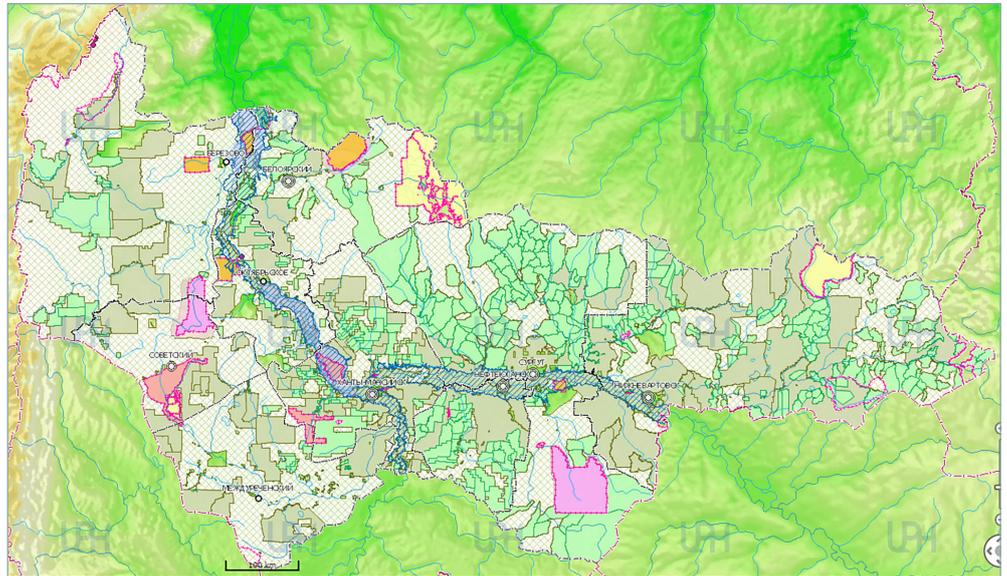
использования территорий и взаимоотношениями хозяйствующих субъектов на этих территориях в соответствии с традиционным природопользованием КМНС. Большая часть таких территорий расположена на Крайнем Севере Российской Федерации. На примере ХМАО всего таких территорий насчитывается 475, право на пользование ими имеют более 4 тыс. человек. На рис. 1⁴ отражены данные ТТП.

Рис. 1  Территории традиционного природопользования ХМАО

Fig. 1
Territories of traditional environmental management of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug

Условные обозначения

 территории традиционного природопользования (475)



Если в ХМАО созданы ТТП общей площадью 12,6 млн га, что составляет 23 % территории Югры⁵, то в ЯНАО не создано ни одной ТТП, несмотря на то что в округе проживает 516 тыс. человек⁶, и к КМНС относятся около 50 тыс. человек, что составляет 9,7 % от всей численности автономного округа. В отрасли оленеводства заняты более 17 тыс. человек, в рыболовстве — от 2–2,3 тыс. человек. Большая часть представителей КМНС проживают в сельских поселениях, где их сельскохозяйственные предприятия имеют значительное влияние на экономику округа, и при образовании ТТП будут затронуты их интересы. Стоит отметить, что территория ЯНАО вследствие интенсивного промышленного освоения и развития инженерной инфраструктуры и так претерпела существенные изменения, которые оказывают значительное влияние на экосистему, природные ландшафты, экологическую ситуацию, а также на привычную среду обитания и традиционный образ жизни малочисленных коренных народов, проживающих в северных регионах.

В ЯНАО осуществляют деятельность порядка 60 нефтегазовых компаний по 246 лицензиям на недропользование (рис. 2⁷). Из традиционного хозяйственного оборота изъяты значительные площади оленьих пастбищ и охотничьих угодий, часть используемых прежде для традиционных промыслов рек и водоемов потеряли свое рыбохозяйственное значение в связи с экологическими проблемами [6–8].

4 Природопользование территории ХМАО — Югры // Геопортал Югра. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gis.crru.ru:8080/resource/599/display?panel=layers> (дата обращения: 10.10.2024).

5 Информация об исполнении Закона Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера регионального значения в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре» в 2021 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.dumahmao.ru/ai_fill/File/control%20activities/2022/20220421_271_inf.pdf?ysclid=m7p6f3xgm2640444274 (дата обращения: 10.10.2024).

6 Демографические показатели Ямало-Ненецкого автономного округа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://72.rosstat.gov.ru/ofs_demp_ynaо (дата обращения: 10.10.2024).

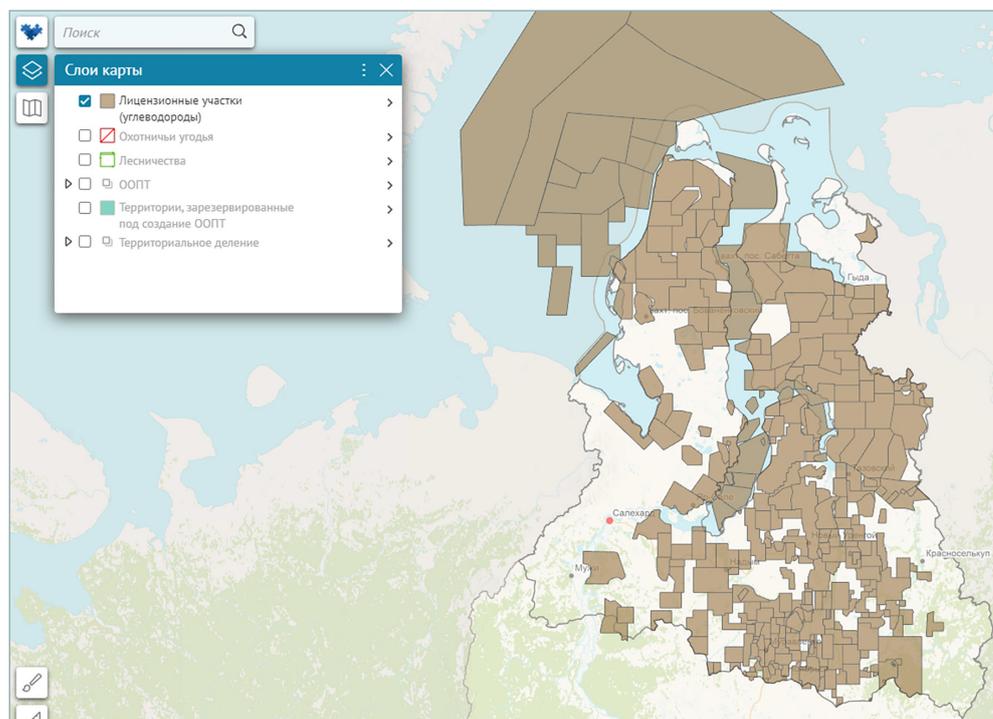
7 Природопользование и экология // Единая картографическая система Ямало-Ненецкого автономного округа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://map.yanao.ru/eks/prirodopolzovanie_ecologia?yqid=sZCGTzs\]Klw](https://map.yanao.ru/eks/prirodopolzovanie_ecologia?yqid=sZCGTzs]Klw) (дата обращения: 10.10.2024).

Рис. 2

Фрагмент карты ЯНАО «Природопользование и экология» (лицензионные участки)

Fig. 2

Fragment of the map of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug “Environmental management and ecology” (license areas)



С учетом неразрывной связи традиционного природопользования с традиционным образом жизни и культурой лиц, относящихся к КМНС, и сохранением их как этноса Федеральный закон № 49-ФЗ, как и принятый в его развитие Закон ЯНАО № 52-ЗАО «О территориях традиционного природопользования в Ямало-Ненецком автономном округе»⁸, устанавливает правовые основы и регулирует отношения в области образования, охраны и использования ТТП для ведения на этих территориях традиционного природопользования и традиционного образа жизни лицами, относящимися к КМНС, общинами КМНС, а также лицами, не относящимися к малочисленным народам, но постоянно проживающими в местах их традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности, ведущими такие же, как и КМНС, традиционное природопользование и традиционный образ жизни.

В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации № 631-р⁹, все районы (Красноселькупский, Надымский, Приуральский, Пуровский, Тазовский, Шурышкарский и Ямальский) и городской округ Салехард были включены в список мест традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности КМНС¹⁰. Однако, несмотря на это, в автономном округе не было создано ни одной ТТП. Причиной этому, возможно, являются потенциальные юридические и экономические риски, связанные с созданием ТТП. Существует некоторое опасение, что такой статус территории может одновременно укрепить права и интересы КМНС и нарушить установившиеся экономические и социальные отношения между представителями КМНС, их общественными объединениями, государственными органами, местными

8 Закон Ямало-Ненецкого автономного округа от 5 мая 2010 г. № 52-ЗАО «О территориях традиционного природопользования в Ямало-Ненецком автономном округе». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://obr.yanao.ru/documents/active/241415/> (дата обращения: 10.10.2024).

9 Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 мая 2009 г. № 631-р «Об утверждении перечня мест традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов РФ и перечня видов их традиционной хозяйственной деятельности (с изменениями и дополнениями)». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/195535> (дата обращения: 10.10.2024).

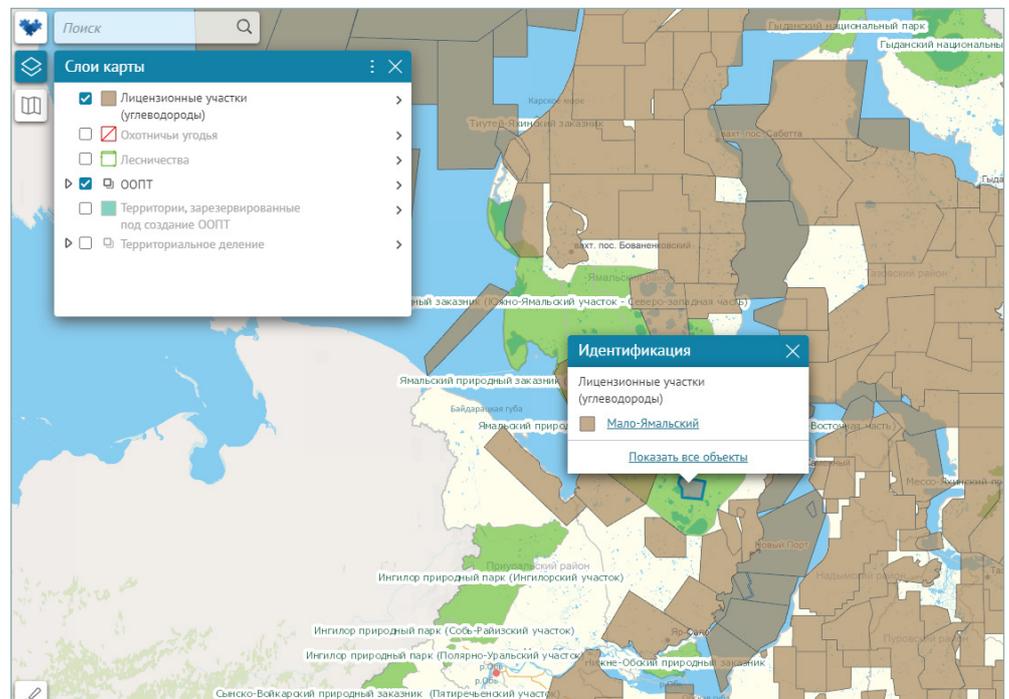
10 Устав (Основной закон) Ямало-Ненецкого автономного округа от 28 декабря 1998 г. № 56-ЗАО. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zs.yanao.ru/documents/active/80521/?ysclid=m7s3874fer341185931> (дата обращения: 10.10.2024).

органами самоуправления и представителями промышленных нефтегазовых компаний¹¹ [9–11].

Анализ нормативной документации показал, что в округе принят закон о ТТП, однако ни одной территории такой статус не присвоен. Несмотря на наличие ТТП в ХМАО и их отсутствие в ЯНАО, ни один из субъектов не вправе утверждать, что между недропользователями и малочисленными народами отсутствуют конфликты. Поэтому необходимо провести детальное изучение дополнительной нормативной документации, касающейся создания ТТП на Крайнем Севере. Как отмечают ученые, закрепление статуса ТТП не противоречит возможности проведения работ по поиску, разведке и добыче нефти и газа на этих территориях. Мировой и национальный опыт показывает, что при наличии желания, соответствующих условий и должных усилий обе эти области хозяйственной деятельности полностью совместимы [12]. Данное утверждение остается предметом дискуссий, поскольку на картографических материалах видно, что практически вся территория ЯНАО поделена на лицензионные участки (рис. 2), исключения не составляют лицензионные участки, которые расположены в пределах ООПТ, что противоречит законодательству Российской Федерации и задачам заповедной территории (рис. 3¹²).

Рис. 3  Фрагмент карты ЯНАО «Природопользование и экология» (лицензионные участки и ООПТ)

Fig. 3 Fragment of the map of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug “Environmental management and ecology” (license areas and specially protected natural areas)



Традиционное природопользование, которое осуществляется коренными малочисленными народами, играет важную роль в развитии территории Крайнего Севера, но существуют разные точки зрения на тему взаимодействия КМНС с органами государственной власти, местного самоуправления и промышленными нефтегазовыми компаниями. Самая обсуждаемая тема — это даже не прекращение добычи нефти и газа, а обвинение недропользователей в халатном и небрежном отношении к территории, которую они арендуют для обустройства месторождений. В связи с этим возникает необходимость проведения локального мониторинга земель, который позволит комплексно оценивать состояние этих территорий. Различные всесторонние аспекты,

11 Хаустов А.П., Редина М.М. Экологический мониторинг: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2024. 549 с.
 12 Природопользование и экология // Единая картографическая система Ямало-Ненецкого автономного округа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://map.yanao.ru/eks/prirodopolzovanie_ecologia?yqid=sZCGTzsJKIw (дата обращения: 10.10.2024).

включая социально-экономические, юридические, экологические и земельно-имущественные, касающиеся использования этих территорий, исследовались многими учеными на протяжении долгого периода. Все это подтверждает необходимость системного подхода, мониторинговых наблюдений для управления природными ресурсами и учета интересов всех заинтересованных сторон, включая коренные народы, существование и культурное наследие которых непосредственно зависят от этих земель [7, 12–16].

3 Результаты и обсуждение

Во многих работах, в которых исследуется рассматриваемая проблема, основной акцент сделан на необходимости учета интересов и прав коренных народов, сохранения традиционных форм использования природных ресурсов на территориях, где проживают эти народы, при осуществлении деятельности компаний в нефтегазовой сфере.

Во-первых, традиционное природопользование рассматривается как ценность в контексте сохранения биоразнообразия. Коренные народы обладают уникальными знаниями о местной флоре и фауне, о способах использования растений и животных в пищу, в лекарственных целях или для производства ремесленных изделий. При разработке нефтегазовых месторождений следует учитывать эти знания и обеспечить сохранение экологического равновесия.

Во-вторых, традиционные формы использования природных ресурсов понимаются как основа для социально-экономического развития местного населения. Многие коренные народы зависят от охоты, рыболовства, сбора ягод и трав, обеспечивающих их пропитание и дополнительный доход. При реализации нефтегазовых проектов необходимо предусмотреть компенсации или альтернативные возможности для местного населения, чтобы минимизировать негативные социально-экономические и экологические последствия [1, 17].

Но существует и другой взгляд на исследуемую проблему. Согласно этой точке зрения, нефтегазовые компании выделяют значительные финансовые ресурсы из своего бюджета на улучшение социально-экономических условий для коренного населения с помощью разнообразных мер и предотвращают конфликтные ситуации в сфере хозяйствования на территории с соблюдением земельного, экологического и иного законодательства при организации деятельности традиционного и промышленного природопользования. Считается также, что роль нефтегазового сектора в социально-экономическом развитии Российской Федерации является значительной. Эта отрасль требует постоянной разработки теоретических и методологических подходов для эффективного управления природным, ресурсным и трудовым потенциалом регионов Севера [18].

Стоит обратить внимание и на экспертное заключение И.Б. Сергеева, где автор выражает свое мнение относительно взаимоотношений хозяйствующих субъектов. Он констатирует, что субсидии и дотации как форма бюджетной поддержки могут вызывать пассивное отношение к получению выгод и использованию этих средств коренными малочисленными народами. Международный опыт свидетельствует о том, что повышенная зависимость от государственных субсидий и специализированных фондов снижает мотивацию людей активно влиять на свою жизнь и качество своего существования. По мнению автора, целью не должно быть исключительно «сохранение исконной среды обитания и традиционного образа жизни», так как, учитывая различные факторы, практически невозможно полностью сохранить исходную среду обитания, особенно с учетом глобального потепления и других изменений климата. Следовательно, стратегия должна быть ориентирована на адаптацию к новым условиям, ведь одновременно с этим сохранение традиционного образа жизни не всегда является оптимальным и может замедлять развитие коренных народов Севера. Жизнь представителей КМНС, как и других граждан страны, должна

быть изменчивой и приспосабливаться к изменяющимся обстоятельствам¹³. При разработке стратегии развития и поддержки КМНС необходимо учитывать эти факторы, обеспечивать достойные условия жизни, разностороннюю поддержку и создавать возможности для активного участия людей в формировании своего будущего [19].

Большой интерес для взаимодействия хозяйствующих субъектов в нефтегазодобывающих регионах представляет исследование А.В. Евсеева, Т.М. Красовской и В.С. Тикунова [12], где представлена методология выявления и картографирования конфликтов природопользования в Арктической зоне Российской Федерации. Конфликт природопользования возникает в социоприродной системе из-за нерационального хозяйственного освоения. Он проявляется разнообразно и связан с избыточной эксплуатацией природного капитала. В статье рассматриваются наиболее востребованные экосистемные услуги в различных зонах Арктики, приводятся методы выявления конфликтов природопользования на основе мониторинговых данных и картографии. Авторы предлагают общую модель и типовую матрицу для выявления конфликтов природопользования, а также способы их отображения на картах. Они провели исследование для Ненецкой, Северо-Якутской и Мурманской опорных зон развития Арктики, включая эколого-экономические оценки. Исследование базируется на теории природопользования, экологической экономики и ландшафтной экологии. В нем использовались методы системного геоэкологического анализа, эколого-экономическое и математическое моделирование, также обсуждаются общие закономерности формирования конфликтов природопользования, связанных с эксплуатацией природно-территориальных комплексов. Модель развития нацелена на рациональное использование природного капитала и устойчивое развитие. Прогнозирование и выявление конфликтов природопользования требуют анализа региональной структуры для определения претендентов на эксплуатацию экосистемных услуг, объемов и технологий потребления, а также мировоззренческих установок [11].

Мониторинг земель, осуществленный Росреестром на территории ЯНАО (2019–2023 годы), показал, что нефтегазовые компании занимают незначительную часть территории от всего земельного фонда округа (табл. 1)¹⁴. Действительно, если проанализировать данные об использовании земель в ЯНАО, земли промышленности занимают всего 0,33 %.

Таблица 1 

Изменение земельного фонда ЯНАО по категориям, тыс. га

Table 1

Change in the land fund of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug by category, thousand hectares

Категории земель	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Земли сельскохозяйственного назначения	30 503,6	30 499,3	30 489,6	30 484,5	30 478,7
Земли населенных пунктов	212,6 (без изменений)				
Земли промышленности и иного специального назначения	234,5	239,7	252,4	258,7	265,6
Земли особо охраняемых территорий и объектов	1509,5 (без изменений)				
Земли лесного фонда	31 685,5 (без изменений)				
Земли водного фонда	7814,3 (без изменений)				
Земли запаса	4965,0	4964,1	4961,1	4959,9	4958,8
Итого земель в ЯНАО	76 925,0	76 925,0	76 925,0	76 925,0	76 925,0

13 Сергеев И.Б. Коренные малочисленные народы Севера в условиях освоения Арктической зоны Российской Федерации: экспертное заключение. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://roscongress.org/materials/korennye-malochislennyye-narody-severa-v-usloviyakh-osvoeniya-arkticheskoy-zony-rossiyskoy-federatsii/> (дата обращения: 25.01.2024).

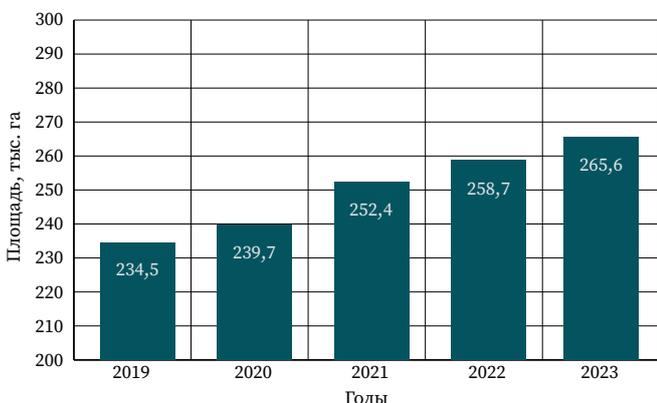
14 Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации (по годам). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/?ysclid=m7yupet31db735442575> (дата обращения: 10.10.2024); Почвы и земельные ресурсы // Официальный сайт Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://yanao.ru/upload/iblock/89e/gc64cuz0hkbe5s7ezn-vk6el30fl85qom.docx> (дата обращения: 10.10.2024).

Рис. 4 ▼

Мониторинг земель промышленности на территории ЯНАО за 2019–2023 годы

Fig. 4

Monitoring of industrial lands in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug in 2019–2023



Однако нефтегазовая отрасль постоянно нуждается в вовлечении новых земель для проведения разведки, добычи и эксплуатации нефти и газа, где фактически используются большие площади территории других категорий (сельскохозяйственного назначения, лесного, водного фондов), что приводит к конфликтам между нефтегазовыми компаниями и жителями, занимающимися традиционным природопользованием [11] (рис. 4).

Это означает, что разработка месторождений на территориях, где проживают коренные народы, может быть осуществлена без нарушения их традиционного образа жизни и экологического баланса. Однако для этого следует соблюдать все необходимые меры по охране окружающей среды, учитывать деятельность местного населения и сотрудничать с ним на всех этапах реализации проектов по обустройству месторождений, строго контролировать все виды хозяйственной деятельности в этом реги-

оне и соблюдать стандарты по охране окружающей среды и сохранению уникальной природы этого региона [20].

Поэтому взаимодействие хозяйствующих субъектов на землях и территориях традиционного природопользования представляет собой сложную проблему, требующую балансирования интересов различных сторон. Визуально вышесказанное можно представить в виде PEST-анализа категорий факторов взаимоотношений хозяйствующих субъектов на землях и территориях традиционного природопользования (табл. 2).

Таблица 2 ▼

PEST-анализ категорий факторов взаимоотношений хозяйствующих субъектов на землях и территориях традиционного природопользования

Table 2

PEST analysis of categories of factors in the relationships of economic entities on lands and territories of traditional natural resource management

	Вызовы	Возможности
Социальные	Выживание и сохранение культуры коренных народов зависят от природы. Для многих жителей это иногда единственная территория существования (никакая денежная компенсация за изъятие земель не поможет в этой ситуации)	Нефтегазовая промышленность дает возможность для инвестиций, предоставляет новые рабочие места и развитие инфраструктуры на территориях. В свою очередь, коренные жители могут предоставить доступ к уникальным знаниям о местных экосистемах и ресурсах
	Далеко не все молодые ханты и манси хотят жить в городе. Жизнь в деревнях меняется: люди используют сотовую связь, снегоходы, навигаторы. Но, как и раньше, продолжают пасти оленей, ловить рыбу, собирать грибы и ягоды. Люди хотят сохранить для своих детей чистые реки и леса, а не природу, которая после антропогенной деятельности будет восстанавливаться десятилетиями	Создание партнерских программ, направленных на обучение и повышение квалификации представителей традиционного природопользования в области экологии и управления природными ресурсами, дает возможность активнее участвовать в процессе принятия решений, связанных с недропользованием, и гарантировать баланс между экономическими интересами и сохранением окружающей среды
Экономические	Нефтегазовая деятельность оказывает постоянное воздействие на территории священных для КМНС мест	
	Достижение цели быстрого экономического прогресса в области традиционного природопользования даже после частичного прекращения нефтегазодобычи в районах проживания коренных народов вызывает значительные сомнения. Это обусловлено тем, что условия рыночной экономики сохраняются и в дальнейшем. Современные условия ставят перед обществом высокие требования, вызовы, а также определяют жизненные стандарты и стремления людей к новым технологиям, инновациям	Требуется создать механизмы совмещения прав различных пользователей с учетом безусловного приоритета задач сохранения исконной среды обитания и ресурсов традиционного природопользования с соблюдением всего комплекса ограничений и требований
	Падение добычи нефти и газа приведет к дестабилизации экономической обстановки в стране	

	Вызовы	Возможности
Политические	Участие коренных народов в процессе принятия решений, касающихся использования и разработки природных ресурсов на их территориях, является недостаточным. Часто они не имеют полной информации или возможности выразить свое мнение, что создает дополнительные конфликты	Требуется установление охранных зон на ТТП с учетом местных особенностей традиционного природопользования, социально-экономического развития МО и состояния природной среды на основе материалов ДЗЗ по космоснимкам, локального мониторинга земель, лесоустройства и др.
	Одновременное действие на одной территории двух или нескольких нестыкуемых правовых систем неизбежно приводит к сложностям взаимодействия хозяйствующих субъектов и фактически останавливает какую-либо деятельность	Следует рассмотреть предложения о создании органов этнического самоуправления. В советский период были национальные округа и предусматривалось представительство малых народов во всех органах власти вплоть до всесоюзного уровня
	Законодательство предусматривает недостаточно жесткую ответственность за нарушение правил и требований, установленных для хозяйственной деятельности в местах традиционного природопользования	Должны быть на законодательном уровне разработаны механизмы компенсации за потерю доступа к природным ресурсам и возможности использования своей земли и традиционных занятий Правительство может установить запреты или ограничения на разведку и добычу нефти и газа в заповедных зонах или на других ООПТ Необходим контроль за соблюдением режима использования земель традиционного природопользования
Экологические	Наблюдается истощение земельных ресурсов, уничтожение ягельника, процесс восстановления которого длится десятки лет (рост составляет 3–5 мм в год)	Необходима охрана земель
	Загрязняются реки и озера, которые раньше были источником питьевой воды для местных жителей	Требуется проведение работ по рекультивации
	В природе происходят серьезные изменения, нарушаются экологические стандарты, большая часть территории подвергается загрязнению промышленными отходами добывающих компаний	Нужен контроль за соблюдением режима использования земель традиционного природопользования
Технологические	Подход нефтегазовых компаний по добыче углеводородов является консервативным	Необходима реализация проектов «Умное месторождение», «Месторождение без людей»
	Большинство открытых за последние 10–15 лет месторождений относятся к малым и мизерным по извлекаемым запасам, т. е. являются заведомо нерентабельными в прогнозируемом периоде	Нефтегазовым компаниям следует применять передовые методы добычи и экологически чистые технологии для снижения воздействия на окружающую среду

4 Выводы

Анализ разных точек зрения на взаимоотношения хозяйствующих субъектов на землях и территориях традиционного природопользования в нефтегазодобывающих регионах Крайнего Севера позволил сделать следующие выводы:

1. Вне зависимости от статуса земли (ТТП или земли традиционного природопользования) взаимоотношения органов власти, недропользователей и КМНС носят сложный характер, несмотря на принятые нормативно-правовые акты федерального и регионального уровней.
2. Нет полного понимания гражданами процессов и преимуществ признания статуса территории (статус ТТП подразумевает определенные права и обязанности для общин КМНС, которые исторически используют данную территорию, также и земли традиционного природопользования могут относиться к таким территориям или быть частью их, но не подпадать под более конкретные нормы и правила использования).

3. Понятия «территории традиционного природопользования» и «земли традиционного природопользования», на первый взгляд, кажутся различными в контексте управления природными ресурсами и их использования, но, как свидетельствует практика, существенной разницы в управлении данными территориями нет.
4. Места (земли) традиционного природопользования являются самой физической территорией, которая использовалась и продолжает использоваться для различных целей, связанных с традиционным образом жизни и экосистемной устойчивостью. Такие земли имеют высокую ценность для народов Крайнего Севера, так как они содержат важные ресурсы, необходимые для выживания и культурного развития этих народов, а ТТП являются формой правового признания и защиты этих земель и связанных с ними прав и интересов малочисленных народов. Присвоение статуса такой территории должно включать в себя установление правовых ограничений для использования этих земель другими заинтересованными сторонами (различие состоит в том, что земли традиционного природопользования — это физическая территория, используемая традиционными сообществами, в то время как статус ТТП подразумевает юридическое признание и защиту этих земель и прав малочисленных народов на них; оба понятия являются важными для сохранения экологической устойчивости и культурного наследия КМНС в условиях интенсивного промышленного освоения территории Крайнего Севера).
5. Для присвоения территории статуса ТТП необходимо провести масштабные кадастровые работы по установке границ такой территории (площадь ТТП, как правило, составляет несколько тысяч гектаров, однако в федеральном законе в ст. 9 неоднозначно и расплывчато обозначены условия, касающиеся размера и образования ТТП), организовать информационную деятельность, направленную на ознакомление с понятием и целями ТТП, а также с процессами признания статуса и его последствиями. При этом надо понимать не только преимущества и возможности, которые возникают после признания статуса, но и важность соблюдения правил использования и ответственности на таких территориях теми, за кем они будут закреплены. По вышеназванным причинам, на наш взгляд, и нет ни одной ТТП в ЯНАО.
6. Требуется разработать программу по проведению локального мониторинга земель в границах лицензионных участков для эффективного и строгого контроля антропогенной деятельности на всех этапах реализации проектов по обустройству месторождений. По результатам мониторинговых наблюдений необходимо создать прозрачные и доступные механизмы взаимодействия всех хозяйствующих субъектов, имеющих интерес к таким территориям. Коренные народы тесно связаны с природой, которая является основой их выживания и культуры. Их традиционный образ жизни и природные ресурсы уникальны и не могут быть заменены даже денежной компенсацией со стороны нефтегазодобывающих компаний. Важно разработать законодательные механизмы для компенсации коренным народам потерь, возникающих в результате ограничения доступа к природным ресурсам и их земле. Жизнь коренных народов изменяется в современном мире, однако многие из них предпочитают сохранять традиционные занятия природопользованием, при этом стремятся сохранить чистоту озер, рек и лесов для будущих поколений. Столкновение различных правоустанавливающих систем на одной территории усложняет взаимодействие хозяйствующих субъектов и затрудняет деятельность в области традиционного природопользования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят за консультации и предоставление информации Департамент недропользования и экологии Тюменской области.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Кустышева И.Н. Проблемы организации системы охраны и защиты земель промышленности в районах Крайнего Севера // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 3. № 2. С. 165–171.
2. Киселева А.М., Гокова О.В. Демографическая безопасность северных регионов: проблемы депопуляции и миграции населения // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. 2016. № 4. С. 181–190.
3. Кустышева И.Н., Беленко В.В. Проблемные вопросы локального мониторинга земель территорий традиционного природопользования при оценке воздействия нефтегазовых месторождений (на примере Ханты-Мансийского автономного округа — Югры) // Геодезия и картография. 2023. № 10. С. 56–64. DOI:10.22389/0016-7126-2023-1000-10-56-64.
4. Лебедев А.З., Иванова Т.С. О статусе территорий традиционного природопользования // Евразийское пространство: экономика, право, общество. 2023. № 11. С. 32–35.
5. Современное положение и перспективы развития малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока: монография / под ред. В.А. Тишкова. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН; М.: Ин-т этнологии и антропологии РАН, 2004. 183 с.
6. Козлов Д.В. Землепользование коренных малочисленных народов // Вопросы российского и международного права. 2016. № 7. С. 207–217.
7. Тарбаев В.А., Царенко А.А., Шмидт И.В. Предложения по совершенствованию системы мониторинга в сфере земельно-кадастровых отношений // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 1–8. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22920> (дата обращения: 12.02.2024).
8. Удалова И.В. Ориентация на традиционный образ жизни как основа сохранения коренных малочисленных народов Севера // Регионы России для устойчивого развития: Образование и культура народов Российской Федерации: материалы международной научно-практической конференции. Новосибирск: ЗАО ИПП «Офсет», 2010. С. 944–953.
9. Землякова Г.Л. Правовые проблемы установления границ территорий традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока // Материалы научно-практической конференции и круглого стола «Арктика — территория устойчивого развития и сотрудничества» и круглого стола «Правовые проблемы социально-экономического и инновационного развития Арктического региона России» (Москва, 20 октября 2017 г.). М.: Норма, 2018. С. 154–164.
10. Филант К.Г. Об образовании территорий традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера в Ямало-Ненецком автономном округе // Проблемы современной науки и образования. 2016. Т. 39. № 81. С. 83–92. DOI:10.20861/2304-2338-2016-81-003.
11. Харючи С.Н. Правовые проблемы сохранения и развития коренных малочисленных народов Севера России: дис. ... д-ра юрид. наук. Тюмень, 2010. 510 с.
12. Евсеев А.В., Красовская Т.М., Тикунов В.С. Конфликты природопользования в Арктической зоне РФ: методология выявления и картографирования // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2022. № 1. С. 5–12.
13. Волков С.Н., Липски С.А. Совершенствование земельного законодательства — необходимое условие эффективного управления земельными ресурсами // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2018. Т. 7. № 162. С. 5–10.
14. Гилева Л.Н. Эколого-хозяйственное обоснование рационального землепользования на территории Ямало-Ненецкого автономного округа: дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2015. 210 с.
15. Липски С.А. Земли Арктической зоны, организация их использования и мониторинга // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2018. Т. 62. № 2. С. 196–203. DOI:10.30533/0536-101X-2018-62-2-196-203.
16. Лузан В.С. Механизмы взаимодействия государства, бизнеса с коренными малочисленными народами Севера, Сибири и Дальнего Востока в условиях глобальных трансформаций // Социодинамика. 2014. № 3. С. 50–66. DOI:10.7256/2306-0158.2014.3.11297.

17. Коваль Е.А., Черных Е.Г. Проблемы организации системы охраны и защиты земель промышленности в районах Крайнего Севера // Актуальные проблемы геодезии, кадастра, рационального земле- и природопользования: материалы III Международной научно-практической конференции: в 2 т. Т. 2. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. С. 234–241.
18. Елгин В.В. Роль нефтегазового сектора в развитии регионов Севера: на примере Ямало-Ненецкого автономного округа: дис. ... д-ра экон. наук. Новосибирск, 2005. 367 с.
19. Olofsson J., Kitti H., Rautiainen P., et al. Effects of summer grazing by reindeer on composition of vegetation, productivity and nitrogen cycling // *Ecography*. 2001. Vol. 24. P. 13–24.
20. Жуков М.А. Опыт совершенствования нормативного правового регулирования традиционного природопользования в федеральном законодательстве // Вестник Якутского государственного университета им. М.К. Амосова. 2007. Т. 4. № 3. С. 89–96.

АВТОРЫ **Кустышева Ирина Николаевна**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
кафедра геодезии и кадастровой деятельности, Институт сервиса и отраслевого управления

канд. техн. наук, доцент

 0000-0003-3145-2053

Беленко Виктор Владимирович

 belenko.v.v.@yandex.ru

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

кафедра космического мониторинга и экологии, картографический факультет

д-р техн. наук, доцент

 0000-0002-7159-7428

Поступила 25.10.2024. Принята к публикации 21.02.2025. Опубликовано 28.02.2025.



A study of interrelations among economic entities within traditional natural resource use (TNRU) territories in oil and gas producing regions of the Far North

Irina N. Kustysheva¹✉, Viktor V. Belenko²

¹ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

² Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

✉ kustyshevain@tyuiu.ru

CITATION Kustysheva IN, Belenko VV. A study of interrelations among economic entities within traditional natural resource use (TNRU) territories in oil and gas producing regions of the Far North. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(1): 99–114. DOI:10.30533/GiA-2025-006.

KEYWORDS land and property relations, the Far North, oil and gas industrial development, territories of traditional environmental management

ABSTRACT In this article, the authors examine the difference between the status of the territory of traditional environmental management and lands of traditional environmental management, as well as their formation, regulation and management in the legislative and legal sphere of the Russian Federation. Places of traditional environmental management are themselves unique territories, the population of which traditionally depends on natural resources for their existence and cultural development. Particular attention is paid to the interaction between business entities, since with the development of the oil and gas industry there is a need to exploit these resources and often this leads to a conflict of interests between subsoil users and the local population. In this article, this problem is studied in detail by the authors, where, based on the results of the study, the impact of the exploitation of oil and gas fields on the territory, life and culture of the population of the Far North of Western Siberia is considered, and methods of collaboration are proposed to achieve sustainable development in both directions. The article will help to understand the problems and possible ways to resolve conflicts between different parties, and will also be useful for those involved in the management of territories and natural resources, environmental aspects and social issues of environmental management.

ACKNOWLEDGEMENTS We thank the Department of Subsoil Use and Ecology of the Tyumen Region for consultations and information.

- REFERENCES**
1. Kustysheva IN. Problemy organizacii sistemy ohrany i zashhity zemel' promyshlennosti v rajonah Krajnego Severa [Problems of organizing the system of protection and defense of industrial lands in the regions of the Far North]. *Interexpo GEO-Siberia*. 2016;3(2): 165–171. (In Russian).
 2. Kiseleva AM, Gokova OV. Demograficheskaja bezopasnost' severnyh regionov: problemy depopuljacii i migracii naselenija [Demographic security of the northern regions: problems of depopulation and population migration]. *Bulletin of Omsk University. Series: Economics*. 2016;4: 181–190. (In Russian).
 3. Kustysheva IN, Belenko VV. Problemnye voprosy lokal'nogo monitoringa zemel' territorij tradicionnogo prirodopol'zovanija pri ocenke vozdeystvija neftegazovyh mestorozhdenij (na primere Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga – Jugry) [Problematic issues of local monitoring of lands of traditional nature management territories when assessing the impact of oil and gas fields (on the example of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra)]. *Geodesy and Cartography*. 2023;10: 56–64. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2023-1000-10-56-64.
 4. Lebedev AZ, Ivanova TS. O statuse territorij tradicionnogo prirodopol'zovanija [On the status of territories of traditional nature management]. *Eurasian Space: Economy, Law, Society*. 2023;11: 32–35. (In Russian).
 5. *Sovremennoe polozhenie i perspektivy razvitija malochislennyh narodov Severa, Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Current situation and development prospects of small-numbered peoples of the North, Siberia and the Far East] [monograph]. Tishkov VA. (ed.). Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS; M.: Institute of Ethnology and Anthropology RAS; 2004. 183 p. (In Russian).
 6. Kozlov DV. Zemlepol'zovanie korennyh malochislennyh narodov [Land use of indigenous peoples]. *Issues of Russian and International Law*. 2016;7: 207–217. (In Russian).
 7. Tarbaev VA, Tsarenko AA, Schmidt IV. Predlozhenija po sovershenstvovaniju sistemy monitoringa v sfere zemel'no-kadastrovyh otnoshenij [Proposals for improving the monitoring system in the sphere of land and cadastral relations]. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;2(2): 1–8. Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22920> (Accessed 12 February 2024). (In Russian).
 8. Udalova IV. Orientacija na tradicionnyj obraz zhizni kak osnova sohraneniya korennyh malochislennyh narodov Severa [Orientation to the traditional way of life as a basis for preserving the indigenous peoples of the North]. *Regions of Russia for sustainable development: education and culture of the peoples of the Russian Federation. Proceedings of the international conference*. Novosibirsk: Publishing House “Ofset”; 2010: 944–953. (In Russian).
 9. Zemlyakova GL. Pravovye problem ustanovlenija granic territorij tradicionnogo prirodopol'zovanija korennyh malochislennyh narodov Severa, Sibiri i Dal'nego Vostoka [Legal problems of establishing the boundaries of territories of traditional nature management of indigenous peoples of the North, Siberia and the Far East]. *Proceedings of the scientific and practical conference “The Arctic – a territory of sustainable development and cooperation” and the round table “Legal problems of socio-economic and innovative development of the Arctic region of Russia” (Moscow, October 20, 2017)*. Moscow: Norma; 2018: 154–164. (In Russian).
 10. Filant KG. Ob obrazovanii territorij tradicionnogo prirodopol'zovanija korennyh malochislennyh narodov Severa v Jamalo-Nenetskom avtonomnom okruge [On the formation of territories of traditional nature management of indigenous peoples of the North in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]. *Problems of Modern Science and Education*. 2016;39(81): 83–92. (In Russian). DOI:10.20861/2304-2338-2016-81-003.
 11. Kharyuchi SN. *Pravovye problemy sohraneniya i razvitija korennyh malochislennyh narodov Severa Rossii* [Legal problems of conservation and development of indigenous peoples of the Russian North] [dissertation]. Tyumen, 2010. 510 p. (In Russian).
 12. Evseev AV, Krasovskaya TM, Tikunov VS. Konflikty prirodopol'zovanija v Arkticheskoj zone RF: metodologija vyjavlenija i kartografirovanija [Conflicts of nature management in the Arctic zone of the Russian Federation: methodology of identification and mapping] *Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography*. 2022;1: 5–12. (In Russian).

13. Volkov SN, Lipski SA. Sovershenstvovanie zemel'nogo zakonodatel'stva – neobhodimoe uslovie jeffektivnogo upravlenija zemel'nymi resursami [Improving land legislation is a necessary condition for effective land management]. *Land Management, Cadastre and Land Monitoring*. 2018;7(162): 5–10. (In Russian).
14. Gileva LN. *Jekologo-hozjajstvennoe obosnovanie racional'nogo zemlepol'zovanija na territorii Jamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga* [Ecological and economic justification for rational land use in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug] [dissertation]. Saint Petersburg, 2015. 210 p. (In Russian).
15. Lipski SA. Zemli Arkticheskoj zony, organizacija ih ispol'zovanija i monitoringa [Lands of the Arctic zone, organization of their use and monitoring]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2018;62(2): 196–203. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2018-62-2-196-203.
16. Luzan VS. Mehanizmy vzaimodejstvija gosudarstva, biznesa s korennyimi malochislennymi narodami Severa, Sibiri i Dal'nego Vostoka v uslovijah global'nyh transformacij [Mechanisms of interaction between the state, business and indigenous peoples of the North, Siberia and the Far East in the context of global transformations]. *Sociodynamics*. 2014;3: 50–66. (In Russian). DOI:10.7256/2306-0158.2014.3.11297.
17. Koval EA, Chernykh EG. Problemy organizacii sistemy ohrany i zashhity zemel' promyshlennosti v rajonah Krajnego Severa [Problems of organizing a system for the protection and defense of industrial lands in the regions of the Far North]. *Actual problems of geodesy, cadastre, rational land and nature management: Proceedings of the III International scientific and practical conference*. In 2 vols. Vol. 2. Tyumen: Industrial University of Tyumen, 2020: 234–241. (In Russian).
18. Elgin VV. *Rol' neftegazovogo sektora v razvitii regionov Severa: na primere Jamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga* [The role of the oil and gas sector in the development of northern regions: On the example of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug] [dissertation]. Novosibirsk, 2005. 367 p. (In Russian).
19. Olofsson J, Kittl H, Rautiainen P, et al. Effects of summer grazing by reindeer on composition of vegetation, productivity and nitrogen cycling. *Ecography*. 2001;24: 13–24.
20. Zhukov MA. Opyt sovershenstvovanija normativnogo pravovogo regulirovanija tradicionnogo prirodopol'zovanija v federal'nom zakonodatel'stve [Experience of Improving Normative Legal Regulation of Traditional Nature Management in Federal Legislation]. *Bulletin of the Yakut State University named after M.K. Amosov*. 2007;4(3): 89–96. (In Russian).

AUTHORS Irina N. Kustysheva

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
 Geodesy and Cadastral Activities, Institute of Service and Industry Management
 PhD in Engineering, Associate Professor
 0000-0003-3145-2053

Viktor V. Belenko

 belenko.v.v.@yandex.ru
 Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
 Department of Space Monitoring and Ecology, Cartographic Faculty
 Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor
 0000-0002-7159-7428

Submitted: October 25, 2024. Accepted: February 21, 2025. Published: February 28, 2025.



Разработка технологической схемы установления границ приаэродромной территории

Е.И. Аврунев¹✉, М.А. Губанищева², Н.А. Моисеева²

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия

² Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

✉ avrunev-ei@yandex.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Аврунев Е.И., Губанищева М.А., Моисеева Н.А. Разработка технологической схемы установления границ приаэродромной территории // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 1. С. 115–126. DOI:10.30533/GiA-2025-007.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА приаэродромная территория, зона с особыми условиями использования территорий, подзона, аэропорт, Единый государственный реестр недвижимости, Национальная система пространственных данных

АННОТАЦИЯ В статье рассмотрены зоны с особыми условиями использования территорий на примере приаэродромной территории. Авторами представлены порядок и особенности установления границ приаэродромной территории. Рассматриваются ограничения и порядок выделения границ подзон приаэродромной территории, проведен анализ этой информации на основе сведений Национальной системы пространственных данных в отношении 142 аэропортов на территории Российской Федерации. В ходе исследований было выявлено, что не все сведения о границах приаэродромной территории на сегодняшний день внесены в реестр границ, что негативно сказывается на интенсивности наполнения Единого государственного реестра недвижимости сведениями о пространственных данных. Авторами разработана технологическая схема установления границ приаэродромных территорий, в которой определены технологические операции, позволяющие выполнить описание местоположения границ зон с особыми условиями использования территорий (приаэродромных территорий) как на этапе подготовки проекта решения и пояснительной записки, так и при непосредственном определении координат характерных точек, закрепляющих на местности границы этого важнейшего структурного элемента транспортной инфраструктуры. Предлагается внести в технологическую схему соответствующие изменения, позволяющие существенно сократить трудоемкость и значительно повысить качество выполняемых технологических операций.

1 Введение

Зоны с особыми условиями использования территорий (ЗООИТ) — это территории, на которых действуют определенные ограничения с целью обеспечения безопасности, благоприятных условий жизни, здоровья граждан, снижения негативного воздействия на окружающую среду, обеспечения сохранности объектов культурного наследия, инженерных объектов и др. В пределах границ ЗООИТ устанавливаются ограничения на использование земельных участков, затрагивающие все, что расположено над и под поверхностью земли, если только это не противоречит законам о недрах, воздушному и водному законодательству. Ограничения касаются также размещения и использования объектов недвижимости на указанных участках, запрещается использование земельных участков для других видов деятельности, несовместимых с целями создания ЗООИТ¹.

Проекты санитарно-защитных зон аэропортов, аэродромов, вертодромов и посадочных площадок как основа оценки соответствия их деятельности экологическим требованиям подробно рассмотрены О.А. Картышевым, Н.И. Николайкиным [1]. В статье [2] разработана технология создания цифровой модели приаэродромной территории, на которой возможно эффективно определять препятствия, обуславливающие безопасное функционирование аэродрома.

Вместе с тем в настоящее время отсутствует методика установления границ приаэродромных территорий, что обуславливает неполноту информации в Едином государственном реестре недвижимости (ЕГРН) и снижает доступность информации для заинтересованных лиц. Это обстоятельство отрицательно сказывается на регулировании земельно-имущественных отношений в целом на территории Российской Федерации^{2,3}. Порядок установления границ ЗООИТ необходим в связи с правовым регулированием, устанавливаемыми ограничениями на использование земельных участков, их влиянием на правовой режим объектов недвижимости, внесением сведений в ЕГРН.

Таким образом, с учетом актуальности этого направления и недостаточного освещения данного аспекта в научно-технической литературе [3–6] представляется целесообразным разработать технологическую схему установления границ приаэродромных территорий, которая, по нашему мнению, имеет теоретическую и, вне всякого сомнения, практическую значимость при выполнении кадастровых работ на территории Российской Федерации. На актуальность этих теоретических исследований неоднократно обращали внимание российские ученые [3, 7].

2 Материалы и методы

Поскольку объектом исследования является приаэродромная территория, приведем в соответствии со статьей 105 Земельного кодекса РФ классификацию видов ЗООИТ (рис. 1⁴). Отметим, что формирование границ этого вида ЗООИТ (приаэродромной территории) и порядок их установления регулируются Воздушным⁵,

1 Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/ (дата обращения: 09.10.2024).

2 Сизов А.П. Современные проблемы землеустройства и кадастров. Ч. 1: Землеустройство: учеб. пособие для студентов магистратуры. М.: Изд-во МИИГАиК, 2012. 69 с.

3 Сизов А.П., Стыценко Е.А., Хомяков Д.М. и др. Современные проблемы землеустройства и кадастров. Пространственное развитие территорий: учебник. М.: Кнорус, 2022. 218 с.

4 Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/ (дата обращения: 09.10.2024).

5 Воздушный кодекс Российской Федерации от 19 марта 1997 г. № 60-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_13744/ (дата обращения: 09.10.2024).

ВИДЫ ЗОН

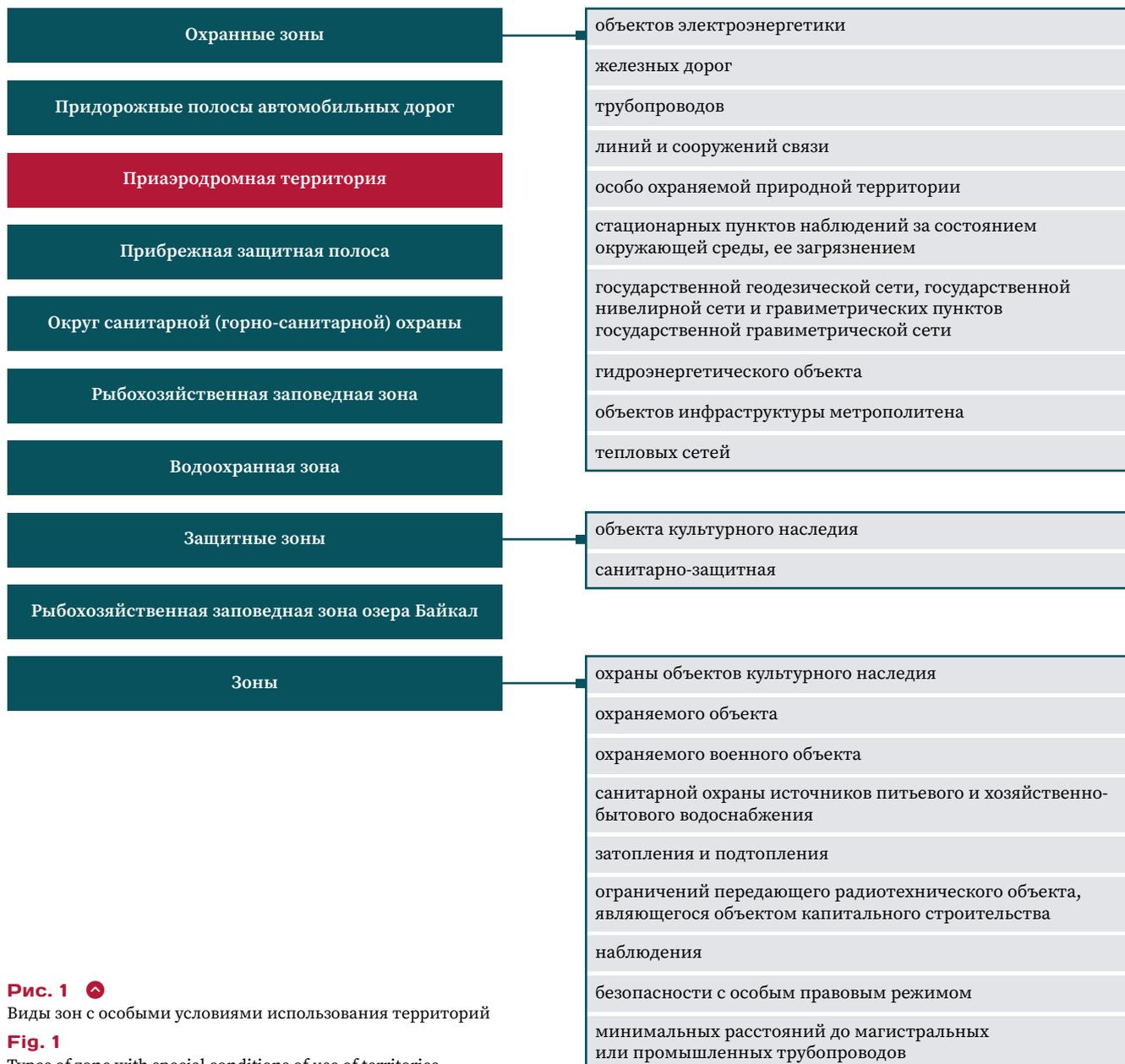


Рис. 1 Виды зон с особыми условиями использования территорий

Fig. 1 Types of zone with special conditions of use of territories

Земельным, Градостроительным⁶ кодексами РФ и постановлением Правительства РФ № 1460⁷.

Актуальность установления границ приаэродромных территорий и внесения этой информации в Национальную систему пространственных данных (НСПД) и ЕГРН определяется необходимостью обеспечения безопасности

⁶ Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 09.10.2024).

⁷ Постановление Правительства РФ от 2 декабря 2017 г. № 1460 «Об утверждении Положения о приаэродромной территории и Правил разрешения разногласий, возникающих между высшими исполнительными органами государственной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченными Правительством Российской Федерации федеральными органами исполнительной власти и Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека при согласовании проекта акта об установлении приаэродромной территории и при определении границ седьмой подзоны приаэродромной территории». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_284306/ (дата обращения: 09.10.2024).

полетов воздушных судов, перспективного развития аэропорта и исключения негативного воздействия оборудования аэродрома и полетов воздушных судов на здоровье человека и окружающую среду.

Авторами выполнен анализ информации о приаэродромных территориях в отношении 142 аэропортов на территории Российской Федерации, на основании которого установлено, что в ЕГРН отсутствует значительная часть информации об их границах, что отрицательно сказывается на функционировании этой важнейшей для РФ транспортной инфраструктуры. В ходе анализа сведений ЕГРН было выявлено, что в отношении 40 % аэропортов не установлены границы приаэродромных территорий по состоянию на 1 декабря 2024 года. Следует отметить, что сохраняется проблема интенсивности наполнения ЕГРН сведениями о пространственных данных [8], в том числе с применением современных геоинформационных методов для получения и использования пространственной информации о территориях всех иерархических уровней [7].

Не менее важно иметь полную информацию о пространственных данных, которой может пользоваться неограниченный круг лиц, что очень актуально на данный момент, особенно в рамках реализации государственной программы «Национальная система пространственных данных»⁸. Для разработки технологической схемы на основании соответствующих нормативно-правовых документов (Воздушного кодекса РФ, Постановления Правительства РФ № 1460) выполнен структурный анализ приаэродромной территории (табл. 1).

Таблица 1 

Ограничения, границы и порядок выделения подзон приаэродромной территории

Table 1

Limitations, boundaries and order of sub-zones allocation of the aerodrome territory

Подзона	Ограничения	Правила установления границ подзон
1	Запрещается размещать объекты, не связанные с организацией и обеспечением взлета, посадки, маневрирования и стоянки воздушных судов	По внешним границам земельных участков, предоставленных для эксплуатации объектов, которые размещены в этих подзонах
2	Запрещается размещать объекты, не связанные с обслуживанием пассажиров, обеспечением энергоснабжения и инфраструктурой аэропорта	
3	Ограничение на высоту объектов	В границах полос воздушных коридоров
4	Запрещается размещать объекты, создающие помехи в работе наземных систем, используемых для организации воздушного движения и находящихся вне первой подзоны	В границах действия средств радиообеспечения полетов и авиационной связи
5	Запрещается размещать опасные производственные объекты, работа которых может угрожать безопасности взлета и посадки воздушных судов	Границы устанавливаются, исходя из требований безопасности полетов и промышленной безопасности опасных производственных объектов с учетом максимального радиуса зон разрушения при катастрофах техногенного характера
6	Запрещается размещать объекты, которые привлекают и собирают стаи птиц	Границы устанавливаются на удалении 15 км от контрольной точки аэродрома
7	Ограничения на использование земельных участков и строительство, реконструкцию, эксплуатацию отдельных видов объектов капитального строительства, обусловленные негативным воздействием эксплуатации воздушных судов на физическое здоровье человека	Границы устанавливаются, исходя из оценки рисков для здоровья человека

⁸ Постановление Правительства РФ от 1 декабря 2021 г. № 2148 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации „Национальная система пространственных данных“». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402555/dc6d73a500c2675629107a7599c85f3de3b23f90/ (дата обращения: 09.10.2024).

3 Результаты и обсуждение

На основании информационно-аналитического обзора нормативно-правовой базы и научно-технических публикаций, а также структурного анализа объекта исследования, представленного в табл. 1, авторами сделаны следующие выводы:

1. При проектировании строительства и реконструкции аэродрома застройщик подготавливает проект акта об установлении приаэродромной территории. Утверждается данный проект федеральным органом при положительном санитарно-эпидемиологическом заключении.
2. Выделение приаэродромной территории происходит с первой по шестую подзоны. Седьмая подзона определяется актом федерального санитарно-эпидемиологического надзора в течение года после установления территории, при этом разногласия по границам подзоны разрешает Правительство РФ. Методика расчета и оценка рисков для здоровья определяются федеральным органом санитарно-эпидемиологического надзора.
3. Если приаэродромная территория установлена с выделением первых шести подзон, использование земельных участков осуществляется при наличии соответствующего санитарно-эпидемиологического заключения.
4. Основные аспекты расчетных построений (позволяющих обеспечить установление границ шумовых зон в обоснованных размерах) внешних границ седьмой подзоны и зон запрещения строительства соответствующих объектов из условий воздействия авиационного шума рассмотрены в работе О.А. Картышева и др. [9].
5. В работах зарубежных авторов также уделяется внимание картографированию и снижению шумового воздействия в границах аэропортов и прилегающих территорий с целью устойчивого развития территорий, сочетающего экономические, социальные и экологические интересы [10, 11]. Однако в таких работах отсутствуют конкретные технологические решения по научно обоснованному установлению границ этих территорий.
6. В случае обнаружения в правилах землепользования и застройки (ПЗЗ) нарушений, связанных с использованием объектов недвижимости и деятельностью на приаэродромной территории, оператор аэродрома обязан подготовить и отправить заключение в уполномоченный федеральный орган власти, который в течение 10 дней направляет в орган местного самоуправления предписание об устранении выявленных нарушений ПЗЗ. При этом данное предписание может быть обжаловано в суде. Уполномоченный федеральный орган также обязан уведомить о выявленных нарушениях высший орган государственной власти, на территории которого расположено соответствующее муниципальное образование.

На основании сделанных выводов и структурного анализа объекта исследований авторами предложена технологическая схема установления границ приаэродромных территорий, которая представлена на рис. 2.

Важным теоретическим аспектом разработанной технологической схемы является решение вопроса о точности установления на местности и в виртуальном пространстве границ приаэродромной территории. Нами предлагается на этапе подготовки проекта решения и пояснительной записки учитывать нормативную среднюю квадратическую погрешность (СКП) определения координат характерных точек границ приаэродромной территории в связи с тем, что в дальнейшем это становится основой при подготовке описания местоположения границ ЗОУИТ для внесения сведений в ЕГРН. Приаэродромная территория, как правило, располагается на землях различных категорий. Поэтому точность определения координат характерных точек границ должна

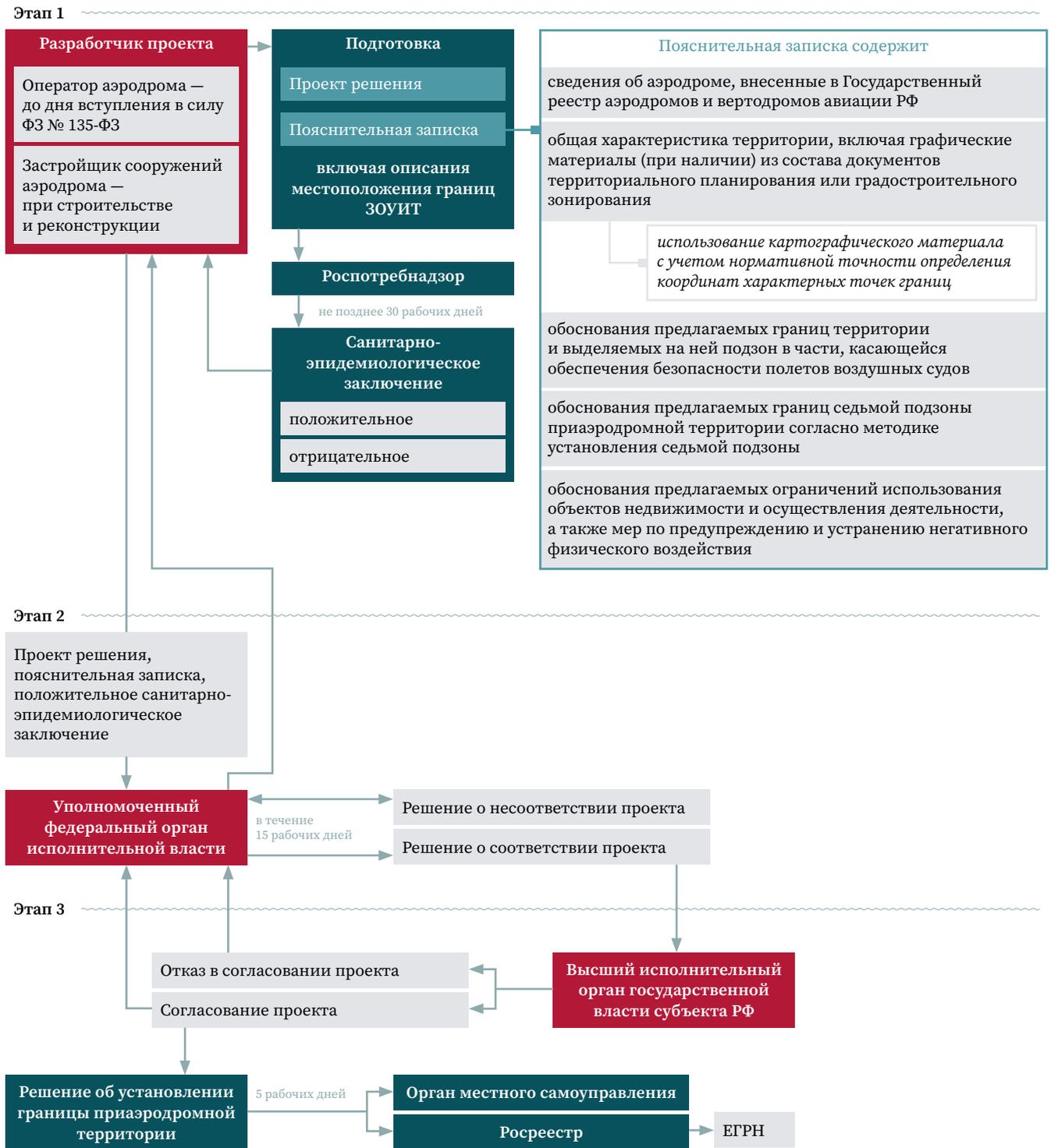


Рис. 2 Технологическая схема установления границ приаэродромных территорий

Fig. 2 Technological scheme for establishing boundaries aerodrome territories

соответствовать требованиям соответствующих нормативных документов⁹. Однако на практике выполнения работ по установлению границ приаэродромных территорий в основном используется картометрический способ, при этом

⁹ Приказ Росреестра от 23 октября 2020 г. № П/0393 «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_368160/ (дата обращения: 09.10.2024).

точность измерения координат зависит от масштаба используемого топографического плана или карты и определяется по следующей формуле:

$$m_{\text{карт}} = t \cdot M = 0,5 \text{ мм} \cdot 500 = 0,25 \text{ м},$$

$$m_{\text{карт}} = 1,2 \text{ мм} \cdot 500 = 0,6 \text{ м},$$

где t — коэффициент, зависящий от способа создания топографического плана или карты (в соответствии с приказом Росреестра № П/0393 может принимать значения 0,5 или 1,2);

M — знаменатель масштаба топографического плана или карты.

Следовательно, при наличии наиболее крупного масштаба 1 : 500 точность измерения координат характерных точек картометрическим способом составит соответственно 0,25 м или 0,6 м, что не соответствует нормативной СКП для земель населенных пунктов и земель сельскохозяйственного назначения, предназначенных для ведения личного подсобного хозяйства, огородничества, садоводства и т. д. В том случае, когда топографический план создан не цифровым, а аналоговым способом ($t = 1,2$), картометрический способ не может быть использован также и для земель промышленности, энергетики, транспорта и иного специального назначения.

Таким образом, несоответствие точности исходной топографической основы требованиям нормативных документов к разным категориям земель определяет необходимость применения более дорогих и трудоемких способов координирования характерных точек границ приаэродромных территорий. Эти способы, основанные на традиционных наземных измерительных технологиях или современных GNSS-технологиях, а также выбор измерительного технологического оборудования в соответствии с заданным нормативным значением СКП определения координат характерных точек детально изложены в [12].

При расположении приаэродромной территории на землях сельскохозяйственного назначения, особо охраняемых территорий и объектов, лесного и водного фондов, а также на землях запаса, учитывая порядок выделения рассмотренных выше подзон (табл. 1), предлагается установить нормативное значение СКП 0,50 м, соответствующее категории земель промышленности, энергетики, транспорта и иного специального назначения.

Предложенная авторами технологическая схема позволяет существенно улучшить межведомственное информационное взаимодействие соответствующих структур исполнительной власти, а также качество предоставляемых пространственных данных для внесения информации в НСПД и ЕГРН. Наличие такой информации позволит обеспечить эффективное управление территориями и защиту прав граждан, а также юридических лиц.

4 Выводы

Таким образом, на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований следует сформулировать следующие основные выводы и концептуальные предложения:

1. Нормативную СКП определения координат характерных точек ЗОУИТ необходимо устанавливать в соответствии с той категорией земель, по которой проходит граница приаэродромной территории, однако она не должна быть грубее нормативного значения, установленного для земель промышленности, энергетики, транспорта и иного специального назначения.
2. Выбор способа определения координат характерных точек и необходимого измерительного технологического оборудования следует осуществлять на основании установленной СКП, исходя из соответствующей категории земель.

3. Реализация на практике разработанной технологической схемы позволит максимально сократить трудоемкость всего технологического процесса по описанию местоположения границ ЗОУИТ (приаэродромной территории) за счет оптимизации межведомственного информационного взаимодействия при подготовке проекта решения и пояснительной записки, а также повысить качество вносимых в НСПД и в ЕГРН сведений.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Картышев О.А., Николайкин Н.И. Проекты санитарно-защитных зон аэропортов, аэродромов, вертодромов и посадочных площадок как основа оценки соответствия их деятельности экологическим требованиям // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2017. Т. 20. № 4. С. 146–155. DOI:10.26467/2079-0619-2017-20-4-146-155.
2. Мицевич Л.А. Разработка технологии создания цифровой модели препятствий аэродрома по стереомоделям, построенным по данным аэрокосмической съемки // Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 3. С. 264–273. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-3-264-273.
3. Чилингер Л.Н., Козина М.В., Аврунев Е.И. Технологическая схема установления границ водоохранных зон в местной системе координат для внесения в Единый государственный реестр недвижимости // Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка». 2020. Т. 64. № 5. С. 576–583. DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-5-576-583.
4. Тихонова К.В., Калининченко А.О., Калининченко Е.О. и др. Правовое регулирование отношений, связанных с установлением зон с особыми условиями использования территорий и определением границ таких зон // Экономика и экология территориальных образований. 2020. Т. 4. № 1. С. 77–84. DOI:10.23947/2413-1474-2020-4-1-77-84.
5. Балдаева Р.А. Зонирование территории как детализация правового режима земель // Аграрное и земельное право. 2021. Т. 11. № 203. С. 103–105. DOI:10.47643/1815-1329_2021_11_103.
6. Болтанова Е.С. Ограничение прав в связи с установлением зоны с особыми условиями использования // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2019. Т. 5. № 212. С. 55–65. DOI:10.24411/2072-4098-2019-10505.
7. Карпик А.П. Анализ состояния и проблемы геоинформационного обеспечения территорий // Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка». 2014. № 4/С. С. 3–7.
8. Вавулинская Д.Д. Вопросы исправления ошибок в Едином государственном реестре недвижимости в условиях перехода к Национальной системе пространственных данных // Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67. № 5. С. 30–40. DOI:10.30533/GiA-2023-036.
9. Картышев О.А., Картышев М.О., Ардашев И.О. Установление внешних границ седьмой подзоны и зоны запрещения строительства нормируемых объектов приаэродромной территории // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 39. С. 122–134.
10. Xie J., Zhu L., Lee H.M. Novel Methodologies for the Development of Large-Scale Airport Noise Map // Sustainability. 2022. Vol. 14. No. 11. P. 6573. DOI:10.3390/su14116573.
11. Toma A., Cican G., Crunteanu D.E. Enhancing Air Traffic Management and Reducing Noise Impact: A Novel Approach Integrating Baneasa Airport with Otopeni RO Airport // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. No. 16. P. 9139. DOI:10.3390/app13169139.
12. Аврунев Е.И., Горобцов С.Р. Геодезическое обеспечение кадастровых работ: монография. Новосибирск: СГУГиТ, 2021. 212 с.

АВТОРЫ **Аврунев Евгений Ильич**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра кадастра и территориального планирования, Институт кадастра и природопользования
канд. техн. наук, доцент
 0000-0003-3172-5330

Губанищева Мария Александровна

✉ mgubanischeva@mail.ru

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»
(ТГАСУ), Томск, Россия

кафедра геоинформатики и кадастра, Институт кадастра, экономики и инженерных
систем в строительстве

канд. экон. наук

🆔 0000-0003-1517-3695

Моисеева Надежда Андреевна

✉ moiseevanadegda@ya.ru

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»
(ТГАСУ), Томск, Россия

кафедра геоинформатики и кадастра, Институт кадастра, экономики и инженерных
систем в строительстве

🆔 0009-0001-4989-483X

Поступила 11.10.2024. Принята к публикации 21.02.2025. Опубликовано 28.02.2025.



Development of a technological scheme for establishing the boundaries of the aerodrome territory

Evgeny I. Avrunev¹✉, **Maria A. Gubanischeva²**,
Nadezhda A. Moiseeva²

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

² Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

✉ avrunev-ei@yandex.ru

CITATION Avrunev EI, Gubanischeva MA, Moiseeva NA. Development of a technological scheme for establishing the boundaries of the aerodrome territory. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(1): 115–126. DOI:10.30533/GiA-2025-007.

KEYWORDS aerodrome territory, zone with special conditions of use of territories, subzone, airport, National Spatial Data System, Unified State Real Estate Register

ABSTRACT The article considers the zones with special conditions of use of territories on the example of the aerodrome territory. The authors present the procedure and peculiarities of establishing the boundaries of the aerodrome territory. The article analyses the restrictions and the procedure for delineating the boundaries of subzones of the aerodrome territory and analyzes this information based on the data of the National Spatial Data System in relation to 142 airports on the territory of the Russian Federation. In the course of the research it was revealed that not all information about the boundaries of the aerodrome territory is currently included in the register of boundaries, which negatively affects the intensity of filling the Unified State of Real Estate Register with information on spatial data. The authors have developed a technological scheme for establishing the boundaries of aerodrome territory. It defines technological operations that make it possible to describe the location of the boundaries of zones with special conditions of use of territories (aerodrome territory) both at the stage of preparation of the draft decision and explanatory note, and during the direct determination of the coordinates of characteristic points that fix the boundaries of this most important structural element of the transport infrastructure on the ground. In the structure of the technological scheme the corresponding solutions are proposed, which allow to significantly reduce the labor intensity and significantly improve the quality of technological operations.

- REFERENCES**
1. Kartyshev OA, Nikolaykin NI. Proekty sanitarno-zashchitnykh zon aeroportov, aerodromov, vertodromov i posadochnykh ploshchadok kak osnova otsenki sootvetstviya ikh deyatelnosti ekologicheskim trebovaniyam [Projects of sanitary protection zones of airports, airfields, heliports and landing sites as a basis for assessing the compliance of their activities with environmental requirements]. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*. 2017;20(4): 146–155. (In Russian). DOI:10.26467/2079-0619-2017-20-4-146-155.
 2. Mitsevich LA. Razrabotka tehnologii sozdaniya cifrovoj modeli prepjatstviy ajerodroma po stereodeljam, postroennym po dannym ajerokosmicheskoy s'emki [Technology of aerodrome obstacle digital model development by remote sensing stereo imagery]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2021;65(3): 264–273. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-3-264-273.
 3. Chilinger LN, Kozina MV, Avrunev EI. Tehnologicheskaja shema ustanovlenija granic vodoohrannykh zon v mestnoj sisteme koordinat dlja vnesenija v Edinyj gosudarstvennyj reestr nedvizhimosti [Technological diagram for establishing the boundaries of water-protected zones in the local coordinate system for entering in the Unified state register of real estate]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2020;64(5): 576–583. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-5-576-583.
 4. Tikhonova KV, Kalinichenko AO, Kalinichenko EO, et al. Pravovoe regulirovanie otnoshenij, svyazannykh s ustanovleniem zon s osobymi usloviyami ispolzovaniya territorij i opredeleniem granits takikh zon [Legal regulation of relations related to the establishment of zones with special conditions for the use of territories and the determination of the boundaries of such zones]. *Economy and Ecology of Territorial Entities*. 2020;4(1): 77–84. (In Russian). DOI:10.23947/2413-1474-2020-4-1-77-84.
 5. Baldaeva RA. Zonirovanie territorii kak detalizatsiya pravovogo rezhima zemel [Zoning of the territory as a detailing of the legal regime of lands]. *Agrarian and Land Law*. 2021;11(203): 103–105. (In Russian). DOI:10.47643/1815-1329_2021_11_103.
 6. Boltanova ES. Ogranichenie prav v svyazi s ustanovleniem zony s osobymi usloviyami ispolzovaniya [Limitation of rights in connection with the establishment of a zone with special conditions of use]. *Property Relations in the Russian Federation*. 2019;5(212): 55–65. (In Russian). DOI:10.24411/2072-4098-2019-10505.
 7. Karpik AP. Analiz sostoyaniya i problemy geoinformatsionnogo obespecheniya territorij [Analysis of the state and problems of geoinformation support of territories]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2014;4/S: 3–7. (In Russian).
 8. Vavulinskaya DD. Voprosy ispravlenija oshibok v Edinom gosudarstvennom reestre nedvizhimosti v usloviyah perehoda k NSPD [Issues of error correction in the conditions of transition to the National spatial data system]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2023;67(5): 30–40. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2023-036.
 9. Kartyshev OA, Kartyshev MO, Ardashev IO. Ustanovlenie vneshnikh granits sedmoy podzony i zony zapreshcheniya stroitelstva normiruemykh obektov priaerodromnoy territorii [Establishment of external boundaries of the seventh subzone and the prohibition zone for construction of regulated objects of the aerodrome territory]. *Scientific Bulletin of the State Research Institute of Civil Aviation*. 2022;3: 122–134. (In Russian).
 10. Xie J, Zhu L, Lee HM. Novel Methodologies for the Development of Large-Scale Airport Noise Map. *Sustainability*. 2022;14(11): 6573. DOI:10.3390/su14116573.
 11. Toma A, Cican G, Crunteanu DE. Enhancing Air Traffic Management and Reducing Noise Impact: A Novel Approach Integrating Baneasa Airport with Otopeni RO Airport. *Applied Sciences*. 2023;13(16): 9139. DOI:10.3390/app13169139.
 12. Avrunev EI, Gorobtsov SR. *Geodezicheskoe obespechenie kadastrykh rabot* [Geodetic support of cadastral works]. Novosibirsk: SSUGT; 2021: 212 p. (In Russian).

AUTHORS **Evgeny I. Avrunev**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
 Department of Cadastre and Territorial Planning,
 Institute of Cadastre and Nature Management
 PhD in Engineering, Associate Professor

 0000-0003-3172-5330

Maria A. Gubanischeva

✉ mgubanischeva@mail.ru

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Department of Geoinformatics and Cadastre,

Institute of Cadastre, Economics and Engineering Systems in Construction

PhD in Economics

ORCID 0000-0003-1517-3695

Nadezhda A. Moiseeva

✉ mo1seevanadegda@ya.ru

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Department of Geoinformatics and Cadastre,

Institute of Cadastre, Economics and Engineering Systems in Construction

ORCID 0009-0001-4989-483X

Submitted: October 11, 2024. Accepted: February 21, 2025. Published: February 28, 2025.



Анализ современного использования и процессов деградации земель сельскохозяйственного назначения в Кабардино-Балкарской Республике

М.Ш. Махотлова¹✉

¹ Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, Нальчик, Россия

✉ m.mahotlova@yandex.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Махотлова М.Ш. Анализ современного использования и процессов деградации земель сельскохозяйственного назначения в Кабардино-Балкарской Республике // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 1. С. 127–144. DOI:10.30533/GiA-2025-008.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА агропромышленный комплекс, деградационные процессы, аграрная политика, земли сельскохозяйственного назначения, сельскохозяйственные земли, сельскохозяйственные угодья, рациональное использование земельных ресурсов

АННОТАЦИЯ Состояние земель сельскохозяйственного назначения в Кабардино-Балкарской Республике (КБР) играет ключевую роль в социально-экономическом развитии региона. С началом изменений в рыночной сфере наблюдается значительное ухудшение качества использования земель, что может негативно сказаться на производственной деятельности сельскохозяйственных предприятий. Недостаточное внимание к этому аспекту может привести к дальнейшей деградации почв и потере урожаев, а следовательно, к уменьшению доходов от сельского хозяйства. Для улучшения ситуации необходимы проведение комплексной оценки эффективности управления данным типом земель и организация системных мероприятий по управлению землями сельскохозяйственного назначения. Исследование эффективности управления землями сельскохозяйственного назначения в КБР позволит не только выявить проблемы, но и определить пути их решения. Внедрение современных подходов к управлению землями сельскохозяйственного назначения важно для обеспечения устойчивого развития сельского хозяйства и сохранения природных ресурсов для будущих поколений.

1 Введение

Повышение экономической эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения является одним из важнейших аспектов современной аграрной политики. Основная цель земельной реформы, проводимой в стране, заключается в создании таких земельных отношений, которые будут способствовать экономически эффективному и экологически безопасному сельскохозяйственному производству. Для достижения данной цели необходимо усилить государственный контроль за целевым использованием сельскохозяйственных угодий.

Рамочный характер законов, принятых на федеральном уровне, предоставляет возможность учитывать так называемые региональные особенности и формировать модель землевладения с их учетом. Этот аспект подчеркивает актуальность и важность исследования, поскольку недостаточная разработанность данной проблемы в Кабардино-Балкарской Республике (КБР) требует более глубокого анализа.

2 Материалы и методы

Развитие агропромышленного комплекса (АПК) является основополагающим фактором, определяющим как народный потенциал, так и степень продовольственной безопасности на уровне республики и всей страны. Однако проблемы, возникающие в этой сфере, многогранны и не изучены до конца. Они требуют глубокого анализа и тщательного исследования.

С началом трансформации рыночных отношений наблюдается значительное ухудшение состояния сельскохозяйственных угодий в КБР. Недостаток современных экономических инструментов, способствующих эффективному использованию земельных ресурсов, ведет к нерациональному использованию сельскохозяйственных земель и снижению их продуктивности.

Данное исследование, основанное на анализе научных источников и собственных изысканий автора, фокусируется на деградационных процессах, происходящих в КБР в связи с высокой антропогенной нагрузкой на земли сельскохозяйственного назначения, и в первую очередь на сельскохозяйственные угодья. Недостаточная разработанность данной проблемы в КБР подчеркивает ее важность и актуальность исследования.

3 Результаты и обсуждение

КБР по праву считается одной из ведущих аграрных республик России. Ключевыми аспектами успешного развития аграрной экономики республики являются:

- 1) аграрная направленность (республика фокусируется на развитии сельского хозяйства);
- 2) конкурентоспособность продукции (сельхозпродукция республики востребована как на внутреннем, так и на внешнем рынке);
- 3) диверсификация производства (республика стремится к разнообразию сельхозпродукции, что повышает устойчивость к внешним факторам);
- 4) финансовая устойчивость (говорится о повышении финансовой устойчивости участников сельскохозяйственного производства, что указывает на инвестиции и развитие инфраструктуры);
- 5) модернизация (акцент на модернизации всех участников сельскохозяйственного производства предполагает внедрение современных технологий и повышение эффективности).

Республика состоит из десяти муниципальных районов. Схематично территориально-административные образования КБР представлены на рис. 1. Распределение земель КБР по категориям и их изменение показаны в табл. 1.

Рис. 1 Территориальное расположение районов КБР

Fig. 1 The territorial location of the CBR districts

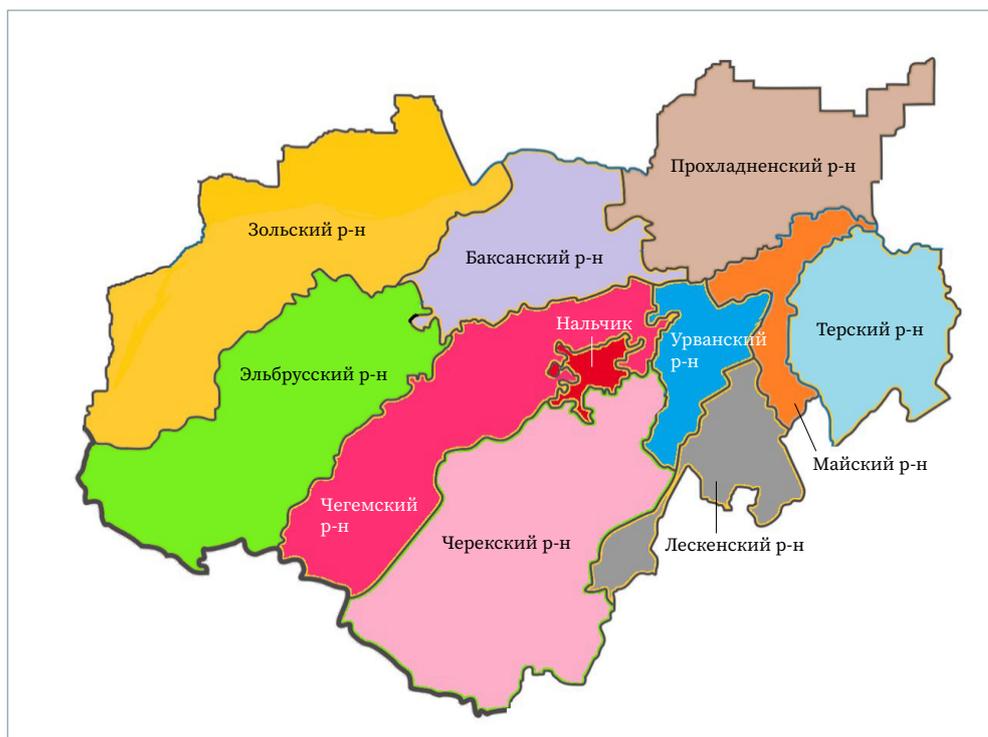


Таблица 1 Распределение земельного фонда КБР по категориям земель в 2020, 2023 гг., тыс. га

Table 1 Distribution of the Kabardino-Balkarian Republic land fund by land categories in 2020, 2023, thousand hectares

Категории земель	2020 г.	2023 г.	2023 г. к 2020 г.
1. Земли сельскохозяйственного назначения	711,0	711,3	+0,3
2. Земли населенных пунктов, всего	57,9	57,9	—
в том числе:			
2.1. Земли городов и поселков	21,3	21,3	—
2.2. Земли сельских населенных пунктов	36,6	36,6	—
3. Земли промышленности, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, космического обеспечения, энергетики, обороны и иного назначения	11,5	11,6	+0,1
4. Земли особо охраняемых территорий	54,8	54,8	—
5. Земли лесного фонда	260,5	260,5	—
6. Земли водного фонда	2,8	2,8	—
7. Земли запаса	148,5	148,1	-0,4
Итого земель в административных границах	1247	1247	—

Примечание. Составлено по данным региональных докладов о состоянии и использовании земель Кабардино-Балкарской Республики за 2020 и 2023 гг.

Как видно из табл. 1, увеличение категории земель сельскохозяйственного назначения на 0,3 тыс. га связано с вовлечением в сельскохозяйственный оборот земель запаса. В то же время из земель сельскохозяйственного назначения изъято и переведено в категорию земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения 74,5 га, но значение площади настолько малое, что при переводе из га в тысячные га эта площадь остается незаметной.

В КБР, как и в других регионах России, в последние годы растет спрос на сельскохозяйственные земли. Результатом аграрной реформы стали изменения

в структуре землепользователей и землевладельцев. С развитием частного сектора произошло перераспределение земель, и структура сельскохозяйственных угодий изменилась. Земельная площадь КБР представлена в табл. 2.

Таблица 2 
Земельная площадь КБР, тыс. га

Table 2
Land area of the Kabardino-Balkarian Republic, thousand hectares

Категории земель	2000 г.	2010 г.	2020 г.	2023 г.
Земли, используемые землепользователями, занимающимися сельскохозяйственным производством	757,1	440,6	481,2	483,0
Земли запаса и лесного фонда	375,7	411,5	408,5	408,6
Земли прочих землепользователей	114,1	394,9	357,3	355,4
Всего земель	1246,9	1247,0	1247,0	1247,0

Примечание. Составлено по данным региональных докладов о состоянии и использовании земель Кабардино-Балкарской Республики за 2000, 2010, 2020 и 2023 гг.

Сельскохозяйственные угодья в основном располагаются в равнинной и предгорной частях республики. В горной части на высоте до 1300 м над уровнем моря располагаются пахотные угодья, на высоте 1700–2100 м — сенокосы, 2100–3200 м — пастбища. Структура земель сельскохозяйственного назначения КБР представлена в табл. 3.

Таблица 3 
Структура земель сельскохозяйственного назначения в КБР

Table 3
The agricultural land structure of the Kabardino-Balkarian Republic

Земли сельскохозяйственного назначения	Площадь, тыс. га	
	2020 г.	2023 г.
1. Сельскохозяйственные угодья	627,0	627,4
в том числе:		
1.1. Многолетние насаждения	23,20	24,0
1.2. Пашня	281,8	278,0
1.3. Пастбища	265,9	269,9
1.4. Сенокосы	56,1	55,5
2. В стадии мелиоративного строительства (сельхозугодья) и восстановления плодородия	2,4	2,1
3. Под водой	8,9	8,9
4. Под дорогами	10,6	10,7
5. Земли застройки	5,0	5,0
6. Прочие земли	41,3	41,4
7. Лесные земли	14,6	14,6
8. Болота	0,9	0,9
9. Нарушенные земли	0,3	0,3
Общая площадь	711,0	711,3

Примечание. Составлено по данным региональных докладов о состоянии и использовании земель Кабардино-Балкарской Республики за 2020 и 2023 гг.

Согласно последним данным, КБР является самой густонаселенной республикой Российской Федерации (табл. 4) и сталкивается с уникальной проблемой: на одного жителя республики в среднем приходится всего 0,3 гектара пашни, что значительно ниже среднего показателя по России. Эта ситуация требует от КБР особого внимания к вопросам продовольственной безопасности и эффективного использования земель. Основные демографические показатели на территории КБР представлены в табл. 5.

Таблица 4 

Муниципальные образования КБР

Table 4

Municipalities of the Kabardino-Balkarian Republic

Муниципальные образования (городские округа и муниципальные районы)	Площадь, км ²	Число жителей, тыс. чел.	Плотность населения, чел/км ²	Число поселений в муниципальном образовании (районе)	Число населенных пунктов в муниципальном образовании (районе или городском округе)
г. о. Нальчик	133,0	271,7	2043	1	5
г. о. Баксан	180,0	60,7	337	1	2
г. о. Прохладный	28,5	59,8	2098	1	1
Лескенский район	512,7	31,0	60	9	9
Майский район	384,8	37,8	98	5	16
Прохладненский район	1349,0	49,9	37	19	41
Черекский район	2212,6	30,4	14	10	10
Терский район	893,0	53,1	59	18	27
Зольский район	2125,0	50,7	24	16	19
Урванский район	468,4	75,6	161	12	14
Эльбрусский район	1850,0	39,2	21	7	11
Чегемский район	1503,0	78,2	52	10	14
Баксанский район	830,0	65,1	78	13	13
Итого по КБР	12 470,0	903,2	74	122	182

Примечание. Составлено по данным Северо-Кавказстата за 2023 г.**Таблица 5** 

Основные демографические показатели в КБР в 2000–2023 гг., тыс. чел.

Table 5

Key demographic indicators of the Kabardino-Balkarian Republic for the period 2000–2023, thousand people

Демографические показатели	2000 г.	2010 г.	2020 г.	2023 г.
Численность населения (на конец года)	886,7	859,8	869,2	903,3
Естественный прирост, убыль (–) населения	0,4	4,5	1,8	2,2
Миграционный прирост, убыль (–) населения	7,3	–4,3	–0,9	–3,3

Примечание. Составлено по данным Северо-Кавказстата за 2000, 2010, 2020, 2023 гг.

В условиях постоянного роста населения и ограниченности территории крайне важно осуществлять продуманное планирование и рациональное использование земли [1]. Вместо расширения посевных площадей, которое может привести к деградации экосистем и ухудшению качества почв, необходимо сосредоточиться на повышении плодородия земель и более эффективном их использовании¹ [2].

Сельскохозяйственные земли являются не просто ресурсом для производства продуктов питания, но и основой для обеспечения продовольственной безопасности страны. Они находятся под особым контролем государства, что подчеркивает их ценность и значимость в устойчивом развитии экономики. Важность

1 Приказ Министерства сельского хозяйства Кабардино-Балкарской Республики от 25 июня 2024 г. № 138 «О внесении изменений в Порядок предоставления субсидий на финансовое обеспечение части затрат, связанных с проведением агротехнологических работ, повышением уровня экологической безопасности сельскохозяйственного производства, а также с повышением плодородия и качества почв на посевных площадях, занятых зерновыми, зернобобовыми, масличными (за исключением рапса и сои), кормовыми сельскохозяйственными культурами, в 2024 году, утвержденный приказом Министерства сельского хозяйства Кабардино-Балкарской Республики от 31 января 2024 г. № 9». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mcx.kbr.ru/upload/iblock/34f/7y6hsxbiyhquptqyir7xjjaulowd0jn/prikaz-MCX-KBR-138-ot-25.06.2024.pdf> (дата обращения: 10.09.2024).

правильного использования сельскохозяйственных земель невозможно переоценить, так как их зарастание, загрязнение и ухудшение состояния могут иметь серьезные последствия не только для аграрного сектора, но и для всей экосистемы [3].

Состояние сельскохозяйственных земель в КБР вызывает серьезные опасения. Выраженные деградационные процессы, такие как переувлажнение и заболаченность, водная эрозия и дефляция, угрожают плодородию и продуктивности этих важнейших природных ресурсов. Среднее содержание гумуса в почвах республики остается низким и составляет 3,5 %. Агрохимическое обследование пахотных почв республики показало, что из 280,1 тыс. га пашни 215,2 тыс. га, или 76 %, имеют низкое содержание гумуса, а среднее и повышенное — всего 64,9 тыс. га, или 24 %². Содержание гумуса в почвах пашни за последние 30 лет уменьшилось почти на 0,6 % в целом по республике (известно, что уменьшение гумуса на 1 % снижает урожайность зерновых культур до 10 ц/га и считается невозможной утратой на будущие 50–60 лет). В табл. 6 показано, что значительные площади земель в КБР, предназначенных для сельскохозяйственного использования, подвержены различным процессам деградации.

Таблица 6 

Площади земель сельскохозяйственного назначения в КБР, подверженные деградационным процессам, в 2020 и 2023 гг.

Table 6

Areas of agricultural land subject to degradation processes in the Kabardino-Balkarian Republic in 2020, 2023

Годы		2020	2023
Общая площадь земель сельскохозяйственного назначения, тыс. га		711,0	711,3
Площади деградированных земельных ресурсов по видам	Эрозия	289,1	290,3
	Дефляция	130,0	139,9
	Засоление	58,0	58,2
	Осолонцевание	0,3	0,3
	Переувлажнение	168,0	170,0
	Подтопление	9,1	10,0
	Заболачивание	68,1	68,8
	Закаменность	171,1	173,2

Примечание. Составлено по данным региональных докладов о состоянии и использовании земель Кабардино-Балкарской Республики за 2020 и 2023 гг.

Несомненно, эти тревожные тенденции требуют незамедлительного внимания и действий со стороны властей, ученых и специалистов в области сельского хозяйства. Если не будут предприняты эффективные меры по сохранению и восстановлению плодородия почв, КБР может утратить свой аграрный потенциал, что негативно отразится на продовольственной безопасности региона и уровне жизни его жителей.

Деградация сельскохозяйственных земель становится одной из наиболее острых проблем современности. Нерациональное ведение сельского хозяйства, включая нарушение севооборота, усугубляет состояние почв. Неправильное чередование культур и их чрезмерное использование истощают запасы питательных веществ, ухудшая качество почвы. Сельскохозяйственные производители, стремясь к немедленному доходу, часто игнорируют важность долгосрочных стратегий.

Ситуацию усугубляет резкое снижение применения как органических, так и минеральных удобрений. Многие фермеры отказываются от эффективных методов удобрения, считая их экономически нецелесообразными. Это приводит не только к потере урожайности, но и к ухудшению структуры почвы, ее способности удерживать влагу и обеспечивать растения необходимыми элементами.

2 Доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Кабардино-Балкарской Республике в 2020 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minprirod.kbr.ru/upload/medialibrary/538/Projekt-GOSDOKLADA-2020.pdf> (дата обращения: 20.09.2024).

В условиях ухудшения состояния земельного фонда крайне важно разработать стратегии, направленные на восстановление и устойчивое использование сельскохозяйственных угодий [4, 5]. Для проведения балльной оценки сельскохозяйственных угодий по видам деградации используются количественные значения, которые разбиваются на четыре равных интервала. Это позволяет оценить степень деградации каждого вида угодий и определить наиболее проблемные зоны, требующие внимания и вмешательства. Разбиение на интервалы помогает визуализировать данные и упрощает процесс анализа, делая его более понятным и доступным для широкого круга специалистов.

Каждый интервал отвечает определенному уровню деградации: от минимального, где показатели находятся в допустимых пределах, до максимального, характеризующего серьезные потери урожайности и непригодность земель для сельского хозяйства. Первый интервал включает земли с незначительными изменениями, показывающими высокую продуктивность и маленькие риски деградации. Второй интервал подразумевает небольшое снижение качества, требующее применения некоторых агрономических мер для восстановления. Третий интервал указывает на средний уровень деградации, когда наблюдаются заметные проблемы с урожайностью и необходимы серьезные усилия для реабилитации. Четвертый интервал говорит о критическом состоянии, при котором земли утратили основные функции и нуждаются в комплексной восстановительной программе. Такой подход к интервалам позволяет более четко анализировать состояние землепользования и выработать эффективные стратегии для предотвращения дальнейшей деградации сельскохозяйственных угодий.

Для более точной оценки состояния агроландшафтов и выявления их уязвимости к различным формам деградации необходимо учитывать множество факторов [6]. К числу таких факторов относятся не только водная эрозия, но и почвенная, химическая, биологическая деградация и деградация растительного покрова. Каждая из этих форм имеет свои показатели, которые могут быть выражены в процентах от общего объема исследуемой территории.

Для оценки степени пораженности агроландшафтов водной эрозией было решено выделить определенные интервалы, каждый из которых отражает уровень воздействия эрозионных процессов на почвенный покров. В интервале до 10,0 % наблюдается очень низкая степень эрозии, что говорит о высокой сохранности аграрных земель. Результаты от 10,1 до 20,0 % указывают на низкую степень пораженности, при которой агроландшафты еще обладают значительным потенциалом для восстановления. В диапазоне 20,1–40,0 % фиксируется средний уровень деградации, что требует принятия мер по защите почвы и улучшению агрономической практики. Наконец, интервал более 40 % свидетельствует о высокой степени водной эрозии, приводящей к серьезным потерям плодородия и угрозе для устойчивости экосистем. Параметры этих интервалов также были применены к другим формам деградации, что позволяет комплексно оценивать состояние агроландшафта. Подобный подход обеспечивает возможность целенаправленного мониторинга и выработки эффективных стратегий защиты и восстановления земельных ресурсов, что является ключевым аспектом для устойчивого сельского хозяйства.

По данным исследования, для оценки общего уровня опасности деградационных процессов на сельскохозяйственных угодьях республики был присвоен 1 балл каждому интервалу степени пораженности земель. Данная система баллов позволяет ранжировать земли по уровням деградации, что облегчает оценку рисков и определение приоритетных мер по восстановлению [7]. Полученные баллы в результате анализа были систематизированы в пять четко определенных рангов, которые помогают оценить уровень опасности.

Сформированная рейтинговая шкала начинается с минимального значения, отражающего низкий уровень пораженности, и заканчивается высоким баллом, который свидетельствует о критической ситуации. Каждый интервал баллов соответствует определенным характерным признакам деградационных процессов, таким как упрощение почвенной структуры, снижение плодородия, ухудшение водного режима и других факторов, влияющих на устойчивость агроэкосистем [8].

Первый ранг, обозначаемый как «нет опасности» (0), указывает на полное отсутствие риска. Второй ранг, «очень низкая опасность» (1), подразумевает минимальные угрозы, которые не вызывают значительных опасений. Третий ранг, «низкая опасность» (2), свидетельствует о наличии небольших рисков, требующих осторожности, но не представляющих серьезной угрозы. Четвертый ранг, «средняя опасность» (3), подразумевает, что риски становятся более ощутимыми и требуют внимательного мониторинга. Наконец, пятый ранг, «высокая опасность» (4), обозначает критическую ситуацию, при которой необходимы срочное реагирование и принятие мер предосторожности для снижения угрозы [9]. Эта система рангов помогает четко и наглядно оценивать обстановку, способствуя более эффективному принятию решений в ситуациях различной степени опасности.

Важно отметить, что системный подход к оценке всех форм деградации позволит не только выявить наиболее уязвимые участки агроландшафтов, но и разработать комплексные меры по их восстановлению и сохранению, что может значительно повысить устойчивость экосистем и улучшить продуктивность сельского хозяйства. Ранжированные баллы по каждому виду деградации агроландшафтов КБР представлены в табл. 7.

Таблица 7 
Бальная оценка степени деградации земель КБР в 2020 и 2023 гг.

Table 7
Score assessment of the degree of land degradation in the Kabardino-Balkarian Republic in 2020, 2023

Годы		2020	2023
Деградационные процессы, баллы	Водная эрозия	3	4
	Ветровая эрозия	1	2
	Засоление	1	1
	Осолонцевание	1	1
	Переувлажнение	4	4
	Подтопление	1	1
	Заболачивание	4	4
	Закамененность	4	4
Всего баллов		19	21

Примечание. Составлено по данным региональных докладов о состоянии и использовании земель Кабардино-Балкарской Республики за 2020 и 2023 гг.

Такой подход позволяет систематизировать данные о состоянии земель и помогает в разработке стратегий по их защите и восстановлению. Определение степени опасности деградационных процессов является важным этапом в оценке устойчивости агроэкосистем, что, в свою очередь, способствует эффективному управлению земельными ресурсами. Анализ полученных баллов дает возможность выявить наиболее уязвимые участки и своевременно предпринимать меры для снижения рисков, связанных с ухудшением качества сельскохозяйственных угодий. Использование рейтинговой шкалы также облегчает сравнение различных регионов и отслеживание динамики изменений в состоянии земель.

На рис. 2 представлены средние коэффициенты деградации земель районов и городских округов по КБР, классифицированные по типам: а) засоление; б) переувлажнение; в) подтопление и заболачивание; г) эродировано дефляцией; д) эродировано водной эрозией; е) совместная водная и ветровая эрозия; ж) каменистость. Представлен также средний показатель по республике. Результаты, полученные на территории КБР, свидетельствуют о том, что каменистость занимает лидирующую позицию по степени деградации земель сельскохозяйственного назначения. В горных районах балл деградации составляет 9,76, что почти вдвое превышает катастрофический уровень.

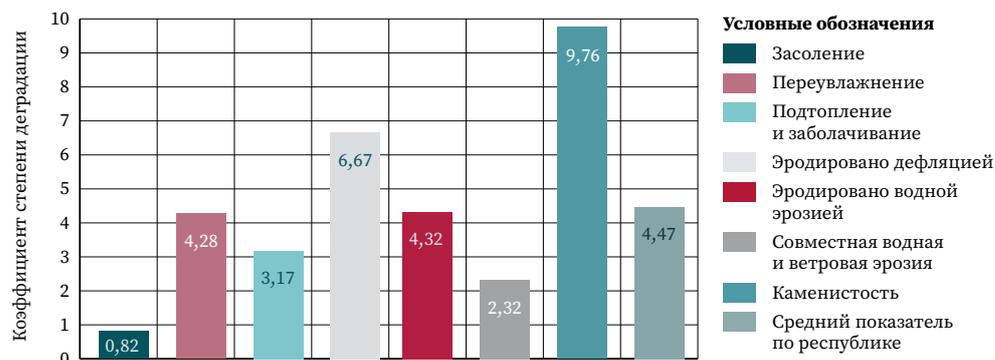
В степных равнинных районах республики наблюдается тревожная тенденция: показатели деградации почв достигают критически высоких значений. Согласно исследованиям, индекс деградации в этих районах составляет 6,67, что свидетельствует о серьезной проблеме для сельского хозяйства.

Рис. 2 

Коэффициенты деградации земель районов и городских округов в среднем по КБР

Fig. 2

The coefficients of land degradation of districts and urban districts on average in the Kabardino-Balkarian Republic



К сожалению, проблема деградации почв не ограничивается одним показателем. Другие процессы, такие как потеря органического вещества и выщелачивание питательных веществ, эрозия, также показывают значительные коэффициенты деградации, варьирующие от 2,32 до 4,47. Исключением является засоление почв, для которого коэффициент деградации составляет всего 0,82. Однако два других показателя находятся выше среднего по республике, и их негативное воздействие настолько значимо, что в среднем по региону оно приближается к критической величине — 4,47.

Анализ уровня деградационных процессов в районах и городских округах выявил неоднородную картину. Большинство территорий демонстрируют значения индекса от 1,71 до 4,00 баллов, что свидетельствует о наличии умеренных деградационных тенденций. Однако Эльбрусский район выделяется на этом фоне, получая оценку в 7,00 баллов. Такой высокий показатель обусловлен, прежде всего, значительной каменистостью почв, которая затрудняет развитие растительного покрова и повышает уязвимость территории к эрозии. Черекский район демонстрирует показатели, близкие к среднему уровню.

В шести административных единицах регистрируется варьирование значений индекса от среднего до высокого, что указывает на необходимость проведения адресных мероприятий по предотвращению деградационных процессов. В пяти административных единицах выявлены значения индекса от высокого до очень высокого, что свидетельствует о наличии серьезной угрозы экологической стабильности и требует разработки и реализации комплексных мер по восстановлению и защите природных ресурсов. В трех горных районах республики наибольшая антропогенная нагрузка наблюдается из-за каменистости. В Майском районе главной проблемой является эрозия, а в Прохладненском — дефляция, в то время как в Урванском и Терском районах наблюдается проблема с засолением земель.

Анализ процентных показателей антропогенной нагрузки показывает, что в городских округах этот показатель тесно связан с плотностью населения. Так, уровень антропогенного воздействия колеблется от 58,52 % в городе Прохладном до 76,81 % в городе Нальчике, в то время как остальные факторы нагрузки не превышают 13 %. Что касается сельскохозяйственных земель Эльбрусского и Черекского районов, то их продуктивность зависит от степени каменистости почвы, которая колеблется в пределах 48,7–59,0 %.

Проведенный комплексный анализ позволил сформулировать предложения по оптимизации эффективности использования сельскохозяйственных угодий. Для этой цели была разработана матрица, отображающая антропогенное воздействие на окружающую среду (ранжированное по степени влияния для каждого района, а также в целом по республике). При разработке матрицы не принимались во внимание переменные факторы, такие как плотность населения и степень распаханности земель, поскольку они подвержены изменениям.

Первую позицию, согласно данным исследования, занимают три степных района и городской округ Прохладный, где деградационные процессы вызваны комплексным воздействием дефляции и эрозии. На втором месте по состоянию

Рис. 3 ⬇
Деградационные процессы на территории КБР

Fig. 3
Degradation processes in the Kabardino-Balkarian Republic

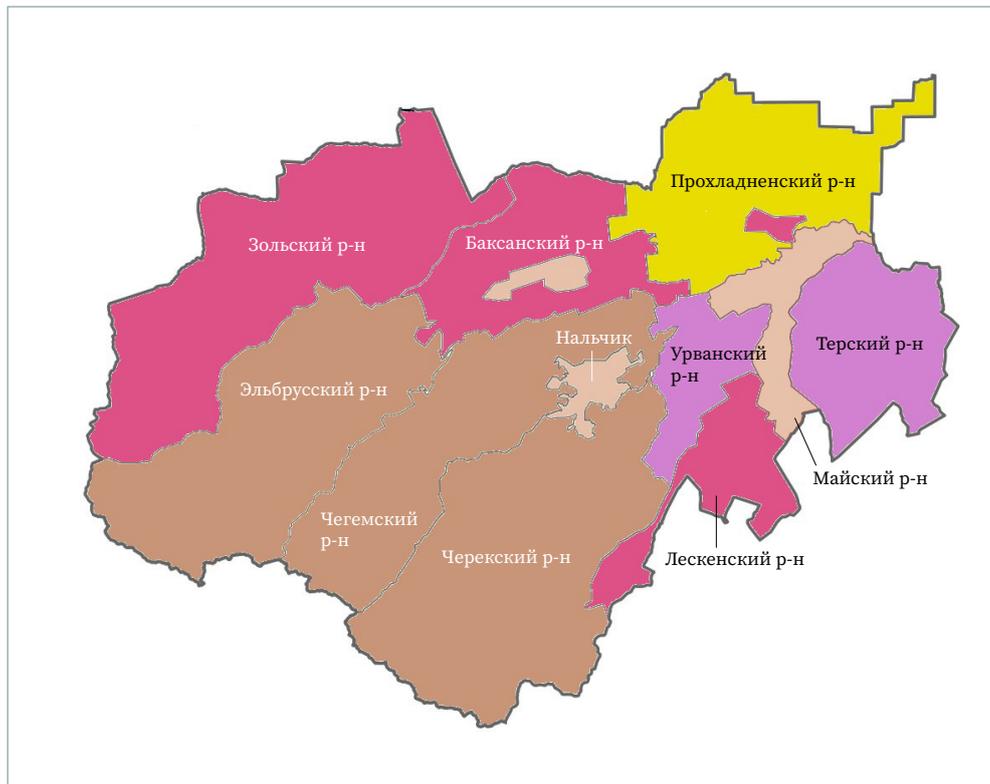
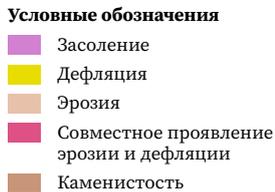
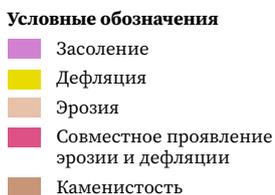
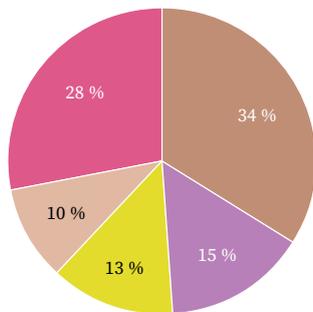


Рис. 4 ⬇
Деградационные процессы на территории КБР (процентное соотношение)

Fig. 4
Degradation processes of the Kabardino-Balkarian Republic land (percentage ratio)



почвенного покрова в трех горных районах находится каменистость. В то же время в других районах и городских округах на первом месте по-прежнему остаются эрозия, дефляция и засоление почв.

Анализ данных по республике в целом показывает, что среди всех деградационных процессов первое место занимает каменистость. Карта деградационных процессов на территории КБР представлена на рис. 3, а их процентное соотношение — на рис. 4.

На рис. 3 видно, что процессы деградации неравномерно распределены по территории республики. Такие процессы, как дефляция, эрозия и засоление почв, преобладают в северо-восточных районах. Дефляция и эрозия также затрагивают северные и юго-восточные районы, но действуют одновременно. Каменистость местности встречается в южных горных районах республики. Следовательно, каждый из этих деградационных процессов требует особого подхода и стратегии управления.

В степных районах, где эрозия и дефляция находятся на первом месте, необходимо внедрять методы защиты почв, такие как лесозащитные полосы и агролесомелиорация. Это позволит значительно снизить толчковую силу ветра и уменьшить потери гумуса [10].

В горных районах проблемой каменистости следует заниматься комплексно, принимая во внимание природу местных экосистем. Использование агрономических практик, таких как подбор многолетних трав и укрепление склонов, поможет улучшить структуру почвы и повысить ее плодородие.

Засоление почв в остальных районах требует внедрения систем орошения и подбора устойчивых к засолению культур. Это позволит не только улучшить состояние почв, но и повысить урожайность сельскохозяйственных угодий.

Для эффективного мониторинга состояния почв необходимо создание геоинформационной системы, объединяющей данные дистанционного зондирования Земли, результаты почвенных анализов и информацию о сельскохозяйственных практиках. Эта система позволит оперативно выявлять проблемные участки и адаптировать стратегию к изменяющимся условиям [11].

Важно отметить, что совместные усилия государственных структур, научных организаций и местного населения могут значительно ускорить процесс

восстановления и стабилизации экосистем³. Создание карт и четкое определение приоритетов позволит более эффективно распределять ресурсы и осуществлять планирование восстановительных мероприятий.

Система управления сельскохозяйственными землями должна основываться на научных исследованиях и практическом опыте [12]. Важно учитывать региональные особенности и потребности производителей, что позволит разработать индивидуальные подходы к каждому региону. Это подчеркивает необходимость активного взаимодействия государственных структур, аграриев и научных учреждений.

Кроме того, следует обратить внимание на внедрение современных технологий в аграрном секторе [13, 14]. Цифровизация и автоматизация процессов помогут повысить эффективность использования земель, улучшить качество продукции и снизить затраты. Важно создать программы поддержки для тех фермеров, которые готовы адаптироваться к новым условиям и внедрять инновации.

Не менее значимой является задача повышения грамотности и навыков работников аграрного сектора. Образовательные программы и курсы повышения квалификации помогут подготовить квалифицированный персонал, способный справляться с новыми вызовами. Стратегические инвестиции в человеческий капитал являются залогом устойчивого развития аграрной экономики.

С целью оптимизации использования сельскохозяйственных земель и повышения эффективности их использования предлагается внести соответствующие поправки в Налоговый кодекс Российской Федерации. Введение повышенной налоговой ставки может быть эффективным инструментом для повышения эффективности использования сельскохозяйственных земель, но только в комплексе с другими мерами. Важно продумать механизм определения «неиспользования», учесть интересы разных категорий владельцев земли и обеспечить справедливое распределение налоговой нагрузки.

Предложение увеличить налоговую ставку с 0,3 до 1,5 % от кадастровой стоимости земли для тех собственников, которые не используют земельные участки по их назначению или используют их не по целевому назначению, имеет свои преимущества и недостатки. С одной стороны, данная мера способствует более эффективному использованию сельскохозяйственных участков. Повышенная налоговая ставка стимулирует собственников земли использовать ее в соответствии с назначением, что способствует развитию сельского хозяйства и повышению продуктивности земель. Это может также привести к увеличению доходов бюджета за счет увеличения налоговых поступлений от тех, кто нецелевым образом использует земельные участки. С другой стороны, повышение налоговой ставки окажется значительной финансовой нагрузкой для некоторых собственников земли, особенно для мелких фермеров или сельскохозяйственных предприятий. Это может привести к увеличению издержек на ведение сельского хозяйства и снижению конкурентоспособности на рынке. Возможно также, что некоторые собственники земли будут пытаться обойти данное правило, что может привести к увеличению недобросовестных практик.

Системный подход к мониторингу позволяет получать полную картину состояния земельных ресурсов, что помогает принимать обоснованные решения по управлению ими. Такой подход может включать разработку стратегий по сохранению и восстановлению плодородия почв, планирование использования земель, контроль за загрязнением и другие меры, направленные на устойчивое развитие сельского хозяйства и защиту окружающей среды. Построение такой системы мониторинга требует комплексного подхода и использования современных технологий для сбора, анализа и интерпретации информации.

Важно подчеркнуть, что все указанные направления требуют глубокого анализа с учетом значимости земель сельскохозяйственного назначения

³ Приказ Министерства сельского хозяйства Кабардино-Балкарской Республики от 1 июля 2024 г. № 148 «О внесении изменений в приказ Министерства сельского хозяйства Кабардино-Балкарской Республики от 7 июня 2024 года № 126». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mcx.kbr.ru/upload/iblock/4ff/61j5k1sbm9v4y1yyw6p4q11npbjnrj50/prikaz-MCX-01.07.2024.pdf> (дата обращения: 10.09.2024).

как ключевого элемента национального благосостояния. Эти земли являются основой для развития экономики и обеспечивают условия для жизнедеятельности общества. Поэтому необходимо изучить каждое направление с учетом влияния на земельные ресурсы и их роль в обеспечении нормального функционирования и развития экономики страны.

Перспективные направления для совершенствования регионального АПК необходимы для систематизации и упорядочивания процессов, что поможет создать устойчивую и эффективную аграрную модель. Таким образом, комплексный подход к решению проблем аграрного сектора, включая законодательные инициативы, поддержку технологий, позволит создать эффективную и конкурентоспособную систему.

Эффективное использование сельскохозяйственных земель требует организации производственного процесса с учетом природных условий, с помощью необходимых знаний и современных технологий для оптимизации производства. Следует принимать меры для решения этих проблем, чтобы обеспечить устойчивое развитие сельского хозяйства. Изучение отечественного опыта в области управления землями сельскохозяйственного назначения демонстрирует сложность этой системы [15, 16].

Создание единого государственного органа по управлению землями сельскохозяйственного назначения позволило бы устранить дублирование функций и повысить эффективность работы всех вовлеченных ведомств. Это обеспечит более системный подход к решению вопросов, связанных с распределением, использованием и охраной земель. Важно, чтобы новый орган обладал достаточными полномочиями, позволяющими ему развивать и внедрять общие стандарты и нормы, касающиеся земель сельскохозяйственного назначения.

Четкое распределение полномочий между федеральным центром, субъектами федерации и муниципалитетами является необходимым условием для успешного функционирования системы земельного управления. Региональные и местные органы должны получить возможность адаптировать федеральные нормы с учетом специфики своих территорий, тем самым способствуя более гибкому реагированию на местные потребности и запросы.

Развитие институциональной инфраструктуры, способствующей образованию межведомственных рабочих групп для решения комплексных задач, играет важную роль в современном обществе. Это обеспечит более эффективное взаимодействие различных уровней власти и даст возможность оперативно реагировать на вызовы в сфере использования и охраны земельных ресурсов. Необходимо также всесторонне информировать население о современных подходах к земельному управлению и привлечь общественность к процессу принятия решений. Стратегическое планирование и государственная поддержка могут стать основой для будущего роста агропромышленного комплекса, что позволит не только решить существующие проблемы, но и обеспечить устойчивое экономическое развитие. Интеграция данных механизмов позволит как улучшить состояние земель, так и повысить конкурентоспособность сельскохозяйственного производства в КБР.

Исследование эффективности управления землями сельскохозяйственного назначения в КБР позволит выявить проблемные моменты и их причины, предложить конкретные меры по их решению. Эффективное управление землями сельскохозяйственного назначения является комплексной задачей, требующей сочетания различных подходов и усилий. Но, вкладывая ресурсы в это направление, можно обеспечить продовольственную безопасность, устойчивое развитие и экономический рост в будущем.

На рис. 5 представлена составленная нами технологическая схема работ по оценке и защите земель сельскохозяйственного назначения в КБР. Она предполагает выполнение следующих процедур:

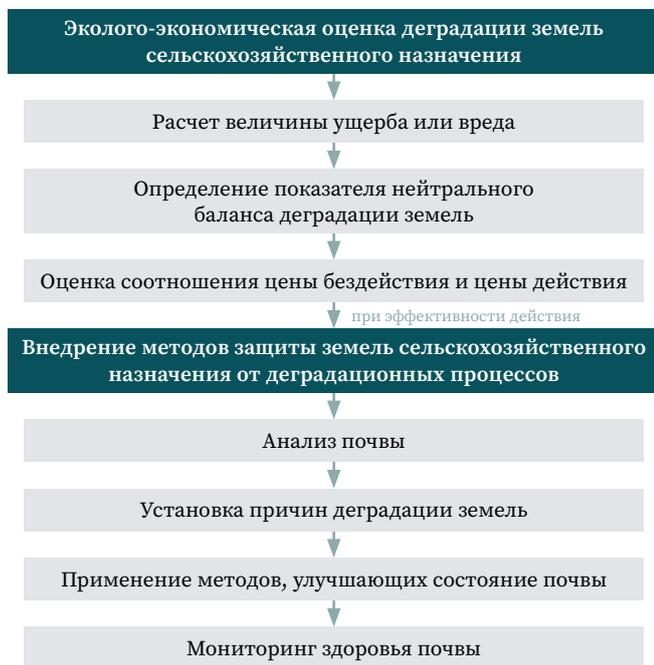
- 1) расчет величины ущерба или вреда — позволяет оценить деградацию земель в текущий период;
- 2) определение показателя нейтрального баланса деградации земель — помогает проследить развитие деградационных процессов в динамике;

Рис. 5 

Технологическая схема работ по оценке и защите земель сельскохозяйственного назначения в КБР

Fig. 5

Technological scheme of land assessment and protection in the Kabardino-Balkarian Republic



3) оценка соотношения цены бездействия и цены действия⁴ по отношению к восстановлению деградированных земель — демонстрирует перспективы текущего землепользования и прогнозирует рентабельность проектов по восстановлению территории.

Для защиты сельскохозяйственных земель КБР от деградации предлагается принять следующие меры:

- 1) провести анализ почвы, чтобы определить ее текущее состояние и выявить проблемы, которые могут вызывать деградацию;
- 2) установить причины деградации земель, чтобы разработать эффективные стратегии борьбы с выявленной проблемой;
- 3) использовать методы, направленные на восстановление и улучшение качества почвы (методы агролесомелиорации в степных районах, укрепление склонов — в горных, внедрение систем орошения в районах с засоленными почвами);
- 4) отслеживать здоровье почвы, чтобы быстро реагировать на любые изменения в ее состоянии и принимать соответствующие меры.

Таким образом, эколого-экономическая оценка деградации земель и комплексное внедрение методов их защиты будут способствовать устойчивому земледелию в КБР.

4 Выводы

Анализ проведенной работы дает возможность выделить несколько ключевых аспектов, касающихся типичных нарушений в использовании земель сельскохозяйственного назначения в КБР. Во-первых, наблюдается тенденция к нецелевому использованию земель, что приводит к деградации почв и снижению их плодородия. Во-вторых, многие фермеры не применяют современные методы обработки почвы и удобрения, что также влияет на урожайность и качество продукции. В-третьих, следует отметить отсутствие комплексного подхода к охране земельных ресурсов. Эффективное управление земельными ресурсами требует взаимодействия различных государственных структур, а также участия местного населения.

Для решения этих проблем необходимо разработать и внедрить стратегию устойчивого использования земель, которая будет учитывать как экономические, так и экологические аспекты. При этом требуется регулярно оценивать эффективность применяемых методов и вносить необходимые корректировки в стратегию на основе полученных результатов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Карашаева А.С. Землеустройство как один из важнейших механизмов земельной политики // Столыпинский вестник. 2020. Т. 2. № 4. С. 1–9.
2. Шалов Т.Б. Сельскохозяйственные угодья в системе территориального планирования и зонирования земель // Современные аспекты управления плодородием агроландшафтов и обеспечения экологической устойчивости производства сельскохозяйственной продукции: материалы Международной научно-практической конференции «От инерции к развитию»:

⁴ Braun J. von, Gerber N., Mirzabaev A., et al. The Economics of Land Degradation. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ssrn.com/abstract=2237977> (дата обращения: 10.09.2024).

- научно-инновационное обеспечение сельского хозяйства». Персиановский: Донской ГАУ, 2020. С. 101–107.
3. Постолова А.А., Шпаков Р.С., Ткачева О.А. Основы рационального использования земель сельскохозяйственного назначения // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: труды Юбилейной XX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Симферополь: Изд. дом КФУ, 2021. С. 177–179.
 4. Головин П.Н., Богданов В.Л. Применение ГИС-технологий для оценки и повышения эффективности использования сельскохозяйственных земель в агроландшафтах на основе дистанционных и полевых данных // Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29. № 1. С. 73–87. DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-1-73-87.
 5. Волков С.Н. О состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2007. Т. 9. № 33. С. 4–8.
 6. Буранбаева Л.З., Атажанова А.А., Сабирова З.З. Оценка влияния состояния и использования земель сельскохозяйственного назначения на обеспечение продовольственной безопасности регионов страны // Вестник БИСТ (Башкирского института социальных технологий). 2024. Т. 2. № 63. С. 59–64. DOI:10.47598/2078-9025-2024-2-63-59-64.
 7. Коменданова Т.М., Имескенова Э.Г., Хамнаева Г.Г. и др. Состояние и рациональное использование земель сельскохозяйственного назначения Республики Бурятия // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2018. Т. 10. № 165. С. 18–24.
 8. Рогова Т.А. Проблемы рационального использования земель сельскохозяйственного назначения в Моздокском районе и пути их решения // Юридическая наука в современном мире: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 25-летию со дня основания юридического факультета Горского государственного аграрного университета. Владикавказ: Горский ГАУ, 2022. С. 116–119.
 9. Глушко А.Я. Влияние водной и ветровой эрозии на земельный фонд Юга европейской части России // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2010. Т. 1. № 10. С. 75–85.
 10. Извеков А.С. Защита почв от эрозии и воспроизводство их плодородия в южных степных и лесостепных районах России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2012. № 70. С. 79–95.
 11. Яньшин А.С. Сохранение почвенного плодородия через призму ГИС: современные подходы и технологии // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2024. Т. 2. № 19. С. 30–34.
 12. Жумагалиева Н., Айтхожаева Г., Пентаев Т. и др. Анализ проблем неиспользования земель сельскохозяйственного назначения с учетом их деградации // Издәністәр, нәтижеләр — Исследования, результаты. 2024. Т. 1. № 101. С. 101–111. DOI:10.37884/1-2024/22.
 13. Студенкова Н.А., Добротворская Н.И., Аврунев Е.И. и др. Организационно-технологическая схема информационного обеспечения земель сельскохозяйственного назначения // Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28. № 6. С. 133–143. DOI:10.33764/2411-1759-2023-28-6-133-143.
 14. Лянденбургская А.В. Использование цифровых технологий при оценке состояния земель сельскохозяйственного назначения // Региональные проблемы устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях цифровой трансформации: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Пенза: ПГАУ, 2023. С. 43–45.
 15. Калинин А.А., Пономаренко Н.В., Матвейкина Ж.В. Мониторинг состояния земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области и эффективности их использования // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2023. Т. 1. № 217. С. 79–86. DOI:10.18522/1026-2237-2023-1-79-86.
 16. Новиков А.В., Хабарова И.А., Хабаров Д.А. и др. Предложения по предотвращению деградации земель сельскохозяйственного назначения // Вектор ГеоНаук. 2022. Т. 5. № 4. С. 13–17. DOI:10.24412/2619-0761-2022-4-13-17.

АВТОР **Махотлова Маратина Шагировна**

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени
В.М. Кокова», Нальчик, Россия

кафедра землеустройства и экспертизы недвижимости,

факультет строительства и землеустройства

канд. биол. наук

Поступила 25.09.2024. Принята к публикации 21.02.2025. Опубликовано 28.02.2025.



Analysis of modern use and degradation of agricultural land in the Kabardino-Balkarian Republic

Maratina Sh. Makhotlova¹

¹ Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik, Russia
 m.mahotlova@yandex.ru

CITATION Makhotlova MSh. Analysis of modern use and degradation of agricultural land in the Kabardino-Balkarian Republic. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(1): 127–144. DOI:10.30533/GiA-2025-008.

KEYWORDS agro-industrial complex, degradation processes, agricultural policy, agricultural lands, agricultural lands, rational use of land resources, agricultural lands

ABSTRACT The state of agricultural lands in the Kabardino-Balkarian Republic plays a key role in the socio-economic development of the region. Since the beginning of changes in the market sphere, there has been a significant deterioration in the quality of their use, which can negatively affect the production activities of agricultural enterprises. Insufficient attention to this aspect can lead to soil degradation and loss of crops, and, consequently, to a decrease in income from agriculture. To improve the situation, it is necessary to conduct a comprehensive assessment of the effectiveness of management of this type of land and organize systematic measures for the management of agricultural land. The study of the effectiveness of agricultural land management in the Kabardino-Balkarian Republic will reveal not only problematic issues, but also ways to solve them. The introduction of modern approaches to agricultural land management is important to ensure sustainable agricultural development and the conservation of natural resources for future generations.

- REFERENCES**
1. Karashaeva AS. Zemleustrojstvo kak odin iz vazhnejshih mehanizmov zemel'noj politiki [Land management as one of the most important mechanisms of land policy]. *Stolypin's Bulletin*. 2020;2(4): 1–9. (In Russian).
 2. Shalov TB. Sel'skohozjajstvennye ugod'ja v sisteme territorial'nogo planirovaniya i zonirovaniya zemel' [Agricultural land in the system of territorial planning and land zoning]. *Modern aspects of managing the fertility of agricultural landscapes and ensuring the environmental sustainability of agricultural production: Proceedings of the International*

- scientific and practical conference "From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture"*. Persianovsky: Don SAU; 2020: 101–107. (In Russian).
3. Postolova AA, Shpakov RS, Tkacheva OA. Osnovy racional'nogo ispol'zovaniya zemel' sel'skhozjajstvennogo naznachenija [Fundamentals of rational use of agricultural land]. *Actual problems and prospects of economic development: proceedings of the XX Anniversary All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. Simferopol: CFU Publishing House; 2021: 177–179. (In Russian).
 4. Golovin PN, Bogdanov VL. Primenenie GIS-tehnologij dlja ocenki i povysheniya jeffektivnosti ispol'zovaniya sel'skhozjajstvennyh zemel' v agrolandshaftah na osnove distancionnyh i polevyh dannyh [The use of GIS technologies to assess and improve the efficiency of agricultural land use in agricultural landscapes based on remote and field data]. *Vestnik SSUGT*. 2024;29(1): 73–87. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-1-73-87.
 5. Volkov SN. O sostojanii i ispol'zovanii zemel' sel'skhozjajstvennogo naznachenija v Rossijskoj Federacii [On the state and use of agricultural lands in the Russian Federation]. *Land management, cadastre and monitoring of lands*. 2007;9(33): 4–8. (In Russian).
 6. Buranbayeva LZ, Atazhanova AA, Sabirova ZZ. Ocenka vlijaniya sostojaniya i ispol'zovaniya zemel' sel'skhozjajstvennogo naznachenija na obespechenie prodovol'stvennoj bezopasnosti regionov strany [Assessment of the impact of the state and use of agricultural land on food security in the regions of the country]. *Bulletin of the BIST (Bashkir Institute of Social Technologies)*. 2024;2(63): 59–64. (In Russian). DOI:10.47598/2078-9025-2024-2-63-59-64.
 7. Komendanova TM, Imeskenova EG, Khamnaeva GG, et al. Sostojanie i racional'noe ispol'zovanie zemel' sel'skhozjajstvennogo naznachenija Respubliki Burjatija [State and rational use of agricultural lands of the Republic of Buryatia]. *Land management, cadastre and monitoring of lands*. 2018;10(165): 18–24. (In Russian).
 8. Rogova TA. Problemy racional'nogo ispol'zovaniya zemel' sel'skhozjajstvennogo naznachenija v Mozdokskom rajone i puti ih reshenija [Problems of rational use of agricultural land in Mozdoksky district and ways to solve them]. *Legal science in the modern world: proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 25th Anniversary of the founding of the Faculty of Law of the Gorsky State Agrarian University*. Vladikavkaz: GSAU; 2022: 116–119. (In Russian).
 9. Glushko AJa. Vlijanie vodnoj i vetrovoj jerozii na zemel'nyj fond Juga evropejskoj chasti Rossii [The impact of water and wind erosion on the land stock of the Southern European part of Russia]. *Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact Sciences*. 2010;1(10): 75–85. (In Russian).
 10. Izvekov AS. Zashhita pochv ot jerozii i vosproizvodstvo ih plodorodija v juzhnyh stepnyh i lesostepnyh rajonah Rossii [Protection of eroded soils and the fertility recovery within the dry-steppe and forest-steppe zones of Russia]. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2012;70: 79–95. (In Russian).
 11. Jan'shin AS. Sohranenie pochvennogo plodorodija cherez prizmu GIS: sovremennye podhody i tehnologii [Conservation of soil fertility through the prism of GIS: modern approaches and technologies]. *Environmental Management Models and Technologies (Regional Aspect)*. 2024;2(19): 30–34. (In Russian).
 12. Zhumagalieva N, Aitkhozhaeva G, Pentaev T, et al. Analiz problem neispol'zovaniya zemel' sel'skhozjajstvennogo naznachenija s uchedom ih degradacii [Analysis of the problems of non-use of agricultural land, taking into account their degradation]. *Research, results*. 2024;1(101): 101–111. (In Russian). DOI:10.37884/1-2024/22.
 13. Studenkova NA, Dobrotvorskaya NI, Avrunev EI, et al. Organizacionno-tehnologicheskaja shema informacionnogo obespechenija zemel' sel'skhozjajstvennogo naznachenija [Organizational and technological scheme of information provision of agricultural lands]. *Vestnik SSUGT*. 2023;28(6): 133–143. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2023-28-6-133-143.
 14. Lyandenburskaya AV. Ispol'zovanie cifrovych tehnologij pri ocenke sostojaniya zemel' sel'skhozjajstvennogo naznachenija [The use of digital technologies in assessing the state of agricultural land]. *Regional problems of sustainable development of the agro-industrial complex in the context of digital transformation. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Penza: PSAU, 2023: 43–45. (In Russian).

15. Kalinin AA, Ponomarenko NV, Matveikina ZhV. Monitoring sostojanija zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija Rostovskoj oblasti i jeffektivnosti ih ispol'zovanija [Monitoring of the state of agricultural lands in the Rostov region and the effectiveness of their use]. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasian Region. Natural Sciences*. 2023;1(217): 79–86. (In Russian). DOI:10.18522/1026-2237-2023-1-79-86.
16. Novikov AV, Khabarova IA, Khabarov DA, et al. Predlozhenija po predotvrashheniju degradacii zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija [Proposals to prevent degradation of agricultural lands]. *Vector of Geosciences*. 2022;5(4): 13–17. (In Russian). DOI:10.24412/2619-0761-2022-4-13-17.

AUTHOR Maratina Sh. Makhotlova

Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, Nalchik, Russia
Department of Land Management and Real Estate Expertise,
Faculty of Construction and Land Management
PhD in Biology

Submitted: September 25, 2024. Accepted: February 21, 2025. Published: February 28, 2025.



**Александр
Петрович**

Карпик

12.05.1956 — 05.02.2025

Александр Петрович Карпик родился в городе Куйбышеве Новосибирской области в семье служащих. В 1973 году поступил на геодезический факультет Новосибирского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (НИИГАиК). Во время обучения он активно занимался спортивной и общественной работой, был ленинским стипендиатом.

В 1978 году, с отличием окончив НИИГАиК по специальности «Прикладная геодезия», Александр Петрович здесь же, в институте, начал свою профессиональную деятельность — ассистентом кафедры инженерной геодезии. В 1980–1981 годах проходил научную стажировку в Московском институте инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии.

После защиты в 1985 году кандидатской диссертации, посвященной методам изучения деформаций тоннелей кругового поперечного сечения, Александр Петрович работал на кафедре инженерной геодезии НИИГАиК старшим преподавателем, доцентом, а в 1992 году стал ее заведующим. В 1997 году он возглавил созданный по его инициативе в Сибирской государственной геодезической академии (бывшем

НИИГАиК) Институт геодезии и менеджмента. А.П. Карпик активно занимался развитием новой научно-образовательной структуры, ее взаимодействием с производством, много времени уделял научной работе. В 2005 году он успешно защитил докторскую диссертацию, в которой предложил методологическое и технологическое обоснование геодезической пространственной информационной системы, ориентированной на геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий. В 2006 году ему было присвоено ученое звание профессора. А.П. Карпик был одним из организаторов Международного форума «Интерэкспо ГЕО-Сибирь», участниками которого являются крупнейшие фирмы-производители современного технологического оборудования и программного обеспечения, ведущие университеты Европы, США, Канады, Израиля, Австралии и Китая.

В 2006 году Александр Петрович был избран ректором родного вуза, переименованного впоследствии в Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГУГиТ). В должности ректора

А.П. Карпик стремился к преобразованию вуза в современный научно-образовательный и производственный центр мирового уровня. В университете была разработана и успешно реализована специальная программа ректора по подготовке кадров высшей квалификации.

Александр Петрович был признанным в России и за рубежом специалистом в области геоинформационного обеспечения устойчивого развития территорий. Им было опубликовано более 250 научных работ, 4 монографии, получено 5 патентов. Одним из многочисленных достижений Александра Петровича стали приоритетные разработки по использованию ГЛОНАСС-технологий для реконструкции специальных геодезических сетей и наблюдения за деформациями крупных энергетических объектов (атомных электростанций, гидротехнических сооружений) и информационных технологий при создании цифровых моделей геопространства для эффективного управления территориями на всех уровнях.

По инициативе А.П. Карпика был реализован проект по созданию региональной системы координат на территорию Новосибирской области, позволивший сделать пересчет кадастра области из 220 систем координат в одну, что обеспечивает эффективный учет объектов недвижимости и развитие кадастра в Новосибирской области.

Александр Петрович был действительным членом Международной академии наук высшей школы, членом Межрегиональной ассоциации руководителей предприятий, Международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования, Международной федерации геодезистов, членом Российского Союза ректоров, Совета ректоров вузов Новосибирской области, Совета по научно-промышленной и инновационной политике города Новосибирска, членом редакционных коллегий ряда научных журналов, в том числе журнала «Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»». ■

Трудовая и научная деятельность

- С 1978 по 1982 г. — ассистент кафедры инженерной геодезии НИИГАиК
- С 1982 по 1985 г. — очный аспирант Московского инженерно-строительного института
- С 1986 по 1992 г. — старший преподаватель, доцент кафедры инженерной геодезии НИИГАиК
- С 1992 по 1997 г. — заведующий кафедрой инженерной геодезии НИИГАиК
- С 1997 по 2006 г. — директор Института геодезии и менеджмента СГГА
- С 2006 по 5 февраля 2025 г. — ректор СГГА — СГУГиТ

Награды и звания

- 1997 г. — Значок «Отличник геодезии и картографии».
- 1999 г. — Нагрудный знак «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».
- 2001 г. — Звание «Почетный геодезист».
- 2011 г. — Почетное звание «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации».
- 2012 г. — Лауреат Государственной премии Новосибирской области.
- 2016 г. — Почетное звание «Почетный работник науки и техники Российской Федерации».
- 2018 г. — Почетная грамота города Новосибирска.
- 2019 г. — Почетная грамота Новосибирской области.

В феврале 2025

НОВАЯ МОНОГРАФИЯ

П.Ю. Бурбана и В.В. Погорелова

**«Топографо-геодезические и картографические работы
при делимитации и демаркации границ Российской Федерации»**

В издательстве МИИГАиК была подготовлена к публикации монография П.Ю. Бурбана и В.В. Погорелова. В ней освещаются исторические вехи становления государственной границы России, особенности международно-правового оформления государственных границ в настоящее время, этапы проведения работ при делимитации и демаркации границ Российской Федерации. Теоретический материал проиллюстрирован картами, схемами, фотографиями, образцами документов. Особый интерес представляют описанные в книге работы по установлению истинного положения и демаркации границ в точке стыка государственных границ Российской Федерации, Республики Беларусь и Латвийской Республики.

